



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e  
Ordenamento  
2006

**Margarida Rosa  
Medeiros Guedes**

**Contribuição para a avaliação, previsão e  
prevenção do regime de cheias na Bacia  
do Vouga**



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e  
Ordenamento  
2006

**Margarida Rosa  
Medeiros Guedes**

**Contribuição para a avaliação, previsão e  
prevenção do regime de cheias na Bacia do  
Vouga**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Manuel Augusto Marques da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

**o júri**

**presidente**

**Prof. Dr.<sup>a</sup> Celeste Alves de Oliveira Coelho**  
professora catedrática da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Manuel Augusto Marques da Silva**  
professor catedrático da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Eugénio Afonso Correia**  
professor associado da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

**Prof. Dr. José Manuel Gaspar Martins**  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

*A todos quantos me apoiaram ao longo destes meses, durante os quais a palavra “dissertação” foi, alternadamente, uma alegria e uma preocupação:*

*Aos meus pais,*

*ao meu orientador, Professor Doutor Marques da Silva,*

*ao Comandante Distrital de Operações de Socorro de Aveiro, António Machado*

*ao Professor Doutor Serrano Pinto e estimados membros do júri aos meus amigos.*

*A todos os organismos e pessoas que disponibilizaram tempo, dados e material bibliográfico para que este trabalho fosse uma realidade. Obrigada.*

**palavras chave**

cheias, hidrologia, bacia, Águeda, Vouga, modelo

**resumo**

Com este trabalho pretende-se contribuir, através do estudo das características da bacia hidrográfica e da modelização hidrológica, para a obtenção de um método de previsão/alerta da ocorrência de cheias na Bacia do Vouga, o qual poderá vir a integrar futuramente um Plano Especial de Cheias, a elaborar pela Comando Distrital de Operações e Socorro de Aveiro.

A dissertação compreende três secções. A primeira destina-se a caracterizar a bacia do Vouga (em termos biofísicos, climatológicos, sócio-económicos e hidrológicos) e o seu regime de cheias, no que respeita a precipitação, cotas e caudais.

A segunda secção aborda a modelação hidrológica, procurando obter-se, a partir de dados reais obtidos pela monitorização, e utilizando modelos disponíveis comercialmente, um contributo para avaliar e/ou prever o regime de cheias. Atendendo à dimensão da bacia do Vouga, e à dificuldade inerente em trabalhar e obter dados hidroclimatológicos de um sistema com esta complexidade, optou-se por restringir a modelização à sub-bacia do rio Águeda, a qual apresenta algumas características que a tornam particularmente indicada para este tipo de abordagem científica: é uma bacia de pequenas dimensões, com um regime hidrológico e um tipo de disposição que a tornam especialmente propensa a inundações repentinas, que afectam gravosamente a população local.

A terceira e última secção reúne as conclusões do trabalho, identificando-se as lacunas e possíveis caminhos a explorar em investigações futuras.

Pretende-se realçar a importância e o potencial da modelação hidrológica em termos de ferramenta de trabalho para o sistema de protecção civil, enquanto instrumento de apoio à decisão para o estabelecimento de avisos e alertas de cheia, planeamento de percursos de evacuação e movimentação de meios de socorro no terreno.

**key words**

floods, hydrology, basin, Águeda, Vouga, model

**abstract**

The thesis comprehends three sections. The first comprehends the characterization of the Vouga basin (in biophysical, climatological, socio-economic and hydrological terms) and its flooding regime, concerning rainfall, hydraulic levels and flows.

The second section discusses hydrological modelling, seeking to obtain, through real monitored data, and using commercial available models, contributes to evaluate and/or predict the flood regime.

Bearing in mind the Vouga basin dimension, and the inherent difficulty to obtain and work hydroclimatological data from such a complex system the modelling was restricted to Águeda sub-basin, which presents some characteristics that make it especially indicated to this kind of approach: it's a small basin, with an hydrological regime and geographical disposition that make it especially prone to sudden flooding, which affect seriously the local community.

Third and last section presents the conclusions of this research, discussing the gaps of information and possible future work to be developed.

It is intended to enhance the importance and potential of hydrological modelling as a tool to decision support for the civil protection services, in the establishment of flood alerts, evacuation planning and deployment of relief operations.

agradecimentos.....	4
resumo.....	5
abstract.....	6
1. Objectivos.....	10
2. Introdução.....	11
Secção I : Estudo da Bacia Hidrográfica e Caracterização do Regime de Cheias.....	14
3. Caracterização Geral da Bacia.....	15
3.1. Localização Geográfica.....	15
3.2. Orografia.....	18
3.3. Rede Hidrográfica.....	19
3.4. Geologia.....	20
3.4.1 Enquadramento Geológico.....	20
3.4.2 Maciço Hespérico.....	20
3.4.3 Orla Ocidental Mesocenozóica.....	21
3.5. Hidrogeologia.....	22
3.5.1 Maciço Antigo.....	23
3.5.2 Orla Ocidental Mesocenozóica.....	24
3.6. Solos.....	27
3.7. Vegetação e Fauna.....	29
3.7.1 Vegetação.....	29
3.7.2 Fauna.....	29
3.8. Clima.....	32
3.8.1 O sistema climático e os seus componentes.....	32
3.8.2 O clima da bacia do Vouga.....	33
3.9. Sócio Economia.....	36
3.9.1 Demografia.....	36
3.9.1.1. Aspectos regionais.....	38
3.9.1.2. Distribuição populacional.....	40
3.9.2 Ocupação do Solo.....	41
3.9.3 Actividades Económicas.....	51
3.9.4 Infra Estruturas.....	54
3.9.4.1. Acessibilidades.....	54
3.9.4.2. Outras.....	55
3.9.4.3. Infra-estruturas Hidráulicas e Saneamento.....	58
4. Caracterização Hidrometeorológica.....	62
4.1. Ocupação Hidrometeorológica.....	62
4.1.1 Rede Udométrica.....	62
4.1.2 Rede Hidrométrica.....	65
4.2. Precipitação.....	67
4.3. Balanço Hídrico.....	71
4.4. Regime Hidrológico.....	85
4.5. Escoamento Fluvial.....	90
4.5.1 Variabilidade sazonal e anual.....	90
4.5.2 Relação precipitação – escoamento.....	97
4.5.3 Caracterização geral do regime das marés.....	98
5. Caracterização do Regime de Cheias.....	100
5.1. Enquadramento Legal.....	100
5.2. Caracterização.....	105
5.2.1 Tipos de Cheia.....	105
5.3. Identificação.....	108
5.3.1 Causas.....	108
5.3.2 Efeitos.....	109
5.3.2.1. Impactos das inundações.....	109
5.3.2.2. Métodos de cálculo dos prejuízos.....	112
5.3.3 Benefícios das cheia.....	114
5.4. Medidas de Defesa.....	115
5.4.1 Estruturais.....	117
5.4.2 Não Estruturais.....	120

6.	Zonas Vulneráveis à Inundação no Distrito de Aveiro.....	121
6.1.	Áreas Vulneráveis .....	121
6.2.	Mapeamento dos Riscos .....	127
6.3.	Planeamento da Evacuação .....	128
6.3.1	Enquadramento.....	128
6.3.2	Elaboração dos Planos .....	128
6.3.3	Evacuação.....	129
6.3.3.1.	Normas a seguir nos movimentos das populações.....	132
6.3.3.2.	Cálculo dos meios.....	134
Secção II – Modelização do Regime Hidrológico: contribuição para a previsão dos níveis de cheia em zonas críticas .....		137
7.	A modelação hidrológica: prever o futuro ? .....	138
7.1.	A modelação do risco associado às cheias.....	138
7.2.	O modelo HEC –HMS.....	139
7.3.	Aplicação ao caso da Bacia do Rio Águeda .....	140
7.3.1	Breve caracterização da bacia.....	140
7.3.2	Características fisiográficas e geométricas .....	142
7.3.2.1.	Relação entre as características geométricas da bacia .....	143
7.3.3	Níveis de cheia na bacia do Águeda .....	152
7.3.4	Estimativas de caudais de ponta de cheia .....	155
7.3.5.	Simulação da cheia de 26 de Janeiro de 2001.....	159
7.3.5.1.	Pressupostos iniciais .....	159
7.3.5.2.	Metodologia adoptada .....	161
7.3.6	Resultados e discussão.....	163
7.3.7	Níveis de aviso à população .....	165
Secção III – Conclusões .....		167
8.	Conclusões.....	168
9.	Recomendações/Sugestões .....	171
10.	Bibliografia.....	173
11.	Legislação.....	179
12.	Endereços Electrónicos.....	180
13.	Glossário.....	181
14.	Anexos.....	183
14.1.	Vulnerabilidades face ao risco de Inundação –base de dados do distrito de Aveiro.....	183



*Altissima quaeque flumina minimo sono labi.  
Os rios mais profundos são os mais silenciosos.*

*Provérbio Latino*

## **1. Objectivos**

São dois os objectivos fundamentais desta dissertação :

Caracterizar, tão completamente quanto possível, o regime de cheias na Bacia Hidrográfica do Vouga.

Avaliar e prever futuras ocorrências de cheia e sua evolução, através da modelação computacional.

Para a prossecução do primeiro ponto, foi necessário proceder ao estudo detalhado das características biofísicas e sócio–económicas da bacia, uma vez que estas determinam o seu comportamento hidrológico e hidráulico, condicionando a ocorrência de cheias e a sua evolução. Este estudo foi feito através de revisão bibliográfica e compilação de dados provenientes de diversas entidades ligadas à gestão e ordenamento dos recursos hídricos na região.

Em relação ao segundo ponto, foram utilizados modelos comerciais, validados através de dados reais, com os quais se procurou contribuir para fazer a avaliação e previsão de futuras ocorrências de cheias e respectiva evolução, de modo a que se possa organizar, do ponto de vista da protecção civil, planos de emergência para dar resposta a este tipo de situações.

## 2. Introdução

O ano hidrológico que decorreu entre Maio de 2000 e Novembro de 2001 pode considerar-se verdadeiramente excepcional. A precipitação atingiu níveis muito elevados, constituindo este o ano mais húmido do século em Portugal . Se a recarga das nossas reservas hídricas subterrâneas pode ser considerada uma mais valia, considerando ainda as vantagens para a agricultura, o aumento anormal do escoamento superficial, provocado por meses de chuva ininterrupta sobre solos já esgotados e o betão urbano, agravado pela ocupação desordenada dos leitos de cheia e obstrução das linhas de água, transformou a benção dos céus no terror das águas furiosas.

Pontes ruíram, diques rebentaram quando rios procuraram os caminhos que o homem roubara, torrentes de lama e pedra desabaram das encostas para arrasar campos e habitações, ruas inteiras transformaram-se em rios caudalosos. Perderam-se vidas e bens materiais. Houve milhões de euros de prejuízos, directos e indirectos.

As cheias são um evento natural, que o Ciclo Hidrológico contempla, tal como a nossa vivência secular. Em algumas regiões, constituem mesmo uma necessidade, fertilizando o solo das zonas baixas da qual depende a subsistência das povoações ribeirinhas. Mas quando o natural e o humano entram em conflito, muitas vezes os resultados podem ser catastróficos. Neste quadro, mais do que remediar prejuízos e indemnizar as vítimas, importa reflectir sobre as medidas a tomar não tanto durante e após a catástrofe (na sua essência reactivas) mas sobretudo antes. Pretende-se, acima de tudo, evitar o mal, ou pelo menos atenuar as suas consequências, através de medidas preventivas, ao nível do ordenamento do território, da gestão de recursos hídricos, da protecção civil e de uma política centrada no desenvolvimento sustentável (e sustentado) do nosso crescimento económico e demográfico.

Esta actuação será tanto mais importante quanto se prevê a possibilidade de um agravamento da ocorrência deste tipo de fenómenos naturais, em algumas bacias, devido à conjugação de uma série de factores como as alterações do clima, o aumento da pressão demográfica e, muito particularmente, as alterações do uso do solo a que esta última conduz forçosamente. Apesar das cheias serem fenómenos naturais, o risco das cheias, ou melhor, o seu agravamento, tem sobretudo influência antrópica.

Educar as populações para a auto-protecção e as autoridades para uma gestão responsável e de longo prazo – são as principais vertentes a equacionar ao lidar com o fenómeno das cheias, para que estas não se convertam fatalmente em inundações de consequências devastadoras.

Traçado o quadro geral da situação, importa agora saber que medidas poderão ser tomadas, ao nível local, para se poder agir atempadamente.

A dissertação que aqui se apresenta, elaborada no âmbito do Mestrado Luso Brasileiro em Gestão e Políticas Ambientais, leccionado pela Universidade de Aveiro, procura contribuir para o conhecimento das cheias na Bacia do Vouga e, a partir desse conhecimento, apontar alguns meios para fazer face a situações de emergência. Como objectivo mais ambicioso, pretende ser parte integrante da elaboração do futuro Plano Especial de Cheias do Distrito de Aveiro, uma vez que a autora faz parte do quadro técnico da Comando Distrital de Operações de Socorro de Aveiro.

Este trabalho de investigação compreende três secções, sendo uma delas dedicada à caracterização da bacia hidrográfica do Vouga, e do seu regime hidrológico, incluindo a análise de dados hidrometeorológicos, e a delimitação de zonas consideradas de risco relativamente a inundações, através do estudo das cheias na região. Pretende-se apontar ainda algumas possíveis medidas de defesa, entre as quais figuram sistemas de aviso e alerta às populações, com utilização de modelos informatizados, que permitem uma análise preventiva integrando, de forma global, a evolução de certos parâmetros hidrológicos.

Este assunto será tratado na secção II da dissertação, utilizando dados reais obtidos através da monitorização histórica em diversas estações hidrométricas

e meteorológicas da sub-bacia do Águeda, e procurando, com a ajuda de modelos disponíveis no mercado, analisar alguns cenários possíveis, no sentido de procurar prever a evolução do regime hidrológico na sequência de precipitações intensas que poderão, em algumas circunstâncias, originar cheias de consequências gravosas.

Por fim, na terceira e última secção, serão discutidos os resultados, avaliadas as principais dificuldades encontradas e lacunas a apontar, e traçadas algumas ideias fundamentais a reter para o desenvolvimento de futuros projectos semelhantes.

***Secção I : Estudo da Bacia Hidrográfica e Caracterização do Regime de Cheias***

### 3. Caracterização Geral da Bacia

#### 3.1. Localização Geográfica

A bacia do rio Vouga localiza-se na Região Centro de Portugal continental, entre as bacias hidrográficas do Douro, a Norte e Mondego, a Sul, situando-se entre os paralelos 40° 15' e 40° 57' de latitude norte e os meridianos 7° 33' e 8° 48' de longitude oeste. A área total, referenciada à Barra de Aveiro, é de 3645 km<sup>2</sup>.

A bacia possui uma forma alongada, orientada no sentido E-W, limitada a Norte por uma linha de cumeada, na qual se salientam as serras de Montemuro, Lapa e Arada, que a separam da bacia hidrográfica do Douro, e a Sul por outra linha de cumeada, na qual se destacam as serras do Caramulo e do Buçaco, que a separam da bacia do Mondego (COBA, 1975; Faria e Machado, 1976; Borrego e Gonçalves, 1996; FBO *et al.*, 1999).

Constituindo um complexo hidrográfico de diversos rios de pequena e média dimensão, espraia-se junto à parte litoral num conjunto de canais localizados em planície, que formam, no seu todo, uma lagoa aberta que constitui uma belíssima e ecologicamente importante zona natural, a Ria de Aveiro.

Administrativamente, são quatro os distritos que fazem parte, total ou parcialmente, desta bacia : Aveiro, Viseu, Coimbra e Guarda, num total de **30 concelhos** – Águeda, Albergaria-a-Velha, Anadia, Arouca, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Mealhada, Murtosa, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ovar, Santa Maria da Feira, S. João da Madeira, Sever do Vouga, Vagos e Vale de Cambra (**Aveiro**); Castro Daire, Mortágua, Oliveira de Frades, S. Pedro do Sul, Sátão, Sernancelhe, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu e Vouzela (**Viseu**); Cantanhede e Mira (**Coimbra**); Aguiar da Beira

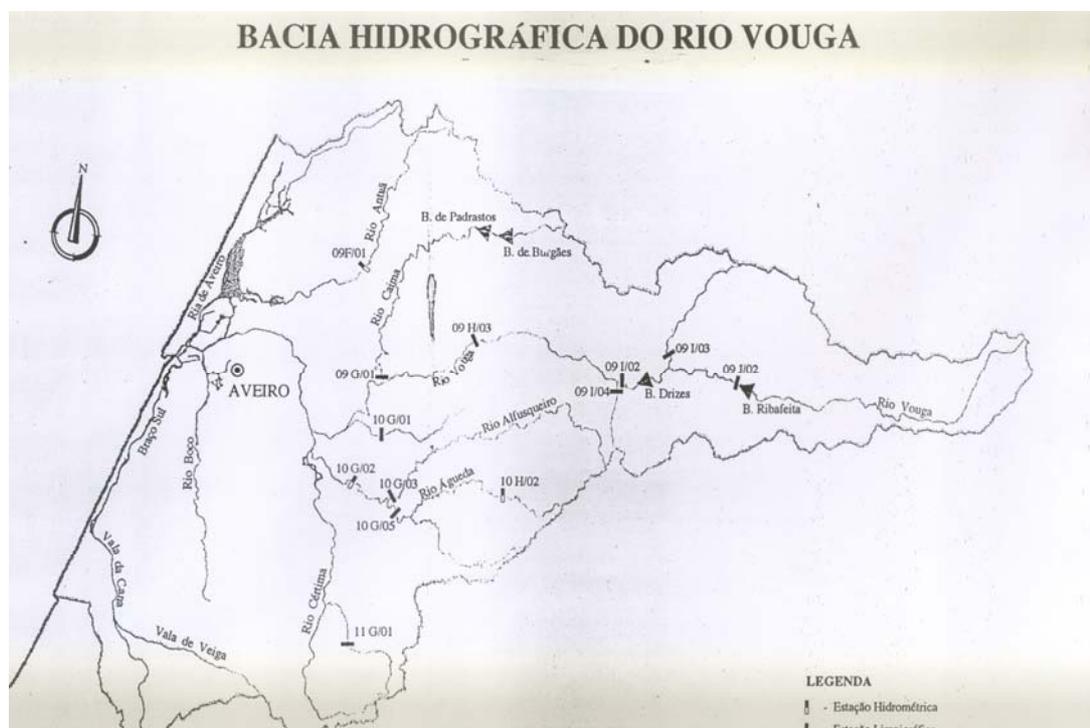
(**Guarda**) (Costa et al., 1996; Borrego & Gonçalves, 1996; FBO et al., 1999).

Segundo o ainda recentemente elaborado Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, podem considerar-se dentro deste espaço três unidades hidromorfológicas distintas, definidas através de critérios morfológicos, climáticos, hidrológicos e de ocupação do solo: **Baixo, Médio e Alto Vouga**. Esta divisão possui algumas semelhanças com a proposta anteriormente por Amorim Girão para o curso do rio, já em 1922, no seu “Estudo Geográfico da Bacia do Vouga” .

Estas três unidades foram, por seu lado, re-arranjadas da seguinte forma :

- Cabeceira : zona superior da bacia, que se desenvolve até São Pedro do Sul. Inclui as bacias dos rios Sul e Mel.
- Médio Vouga – Direito : entre S. Pedro do Sul e Albergaria - a - Velha. A jusante de S. Pedro do Sul o rio entra numa zona de declive mais acentuado e elevada capacidade de drenagem. Os principais afluentes neste troço são os rios Varoso, Teixeira, Mau e Caima. Encontram-se ainda nesta unidade hidrológica as ribeiras de Ribamá e da Brazela.
- Médio Vouga – Esquerdo : entre Albergaria- a - Velha e a entrada na Ria de Aveiro. Zona de leito de cheia em ambas as margens, com declives suaves. Aqui confluem os rios Águeda e Marnel.
- Baixo Vouga- Norte : zona lagunar. Afluem ao rio Vouga o Braço Norte da Ria de Aveiro, onde desaguam os Rios Antuã, Fontão, Negro e a ribeira de Cáster e o Braço da Gafanha, onde se inclui a zona superior da bacia do rio Boco.
- Baixo Vouga- Sul : zona lagunar que abrange o Braço Sul da Ria. Os principais afluentes são a ribeira da Corujeira e o rio Boco.

Figura 3.1: Bacia Hidrográfica do rio Vouga (Fonte: Carvalho *et al.* 1997, adaptado, s/escala).



### **3.2. Orografia**

Geologicamente, a bacia em estudo encontra-se dividida em duas zonas distintas, sob o ponto de vista geomorfológico, divididas por uma linha que vai de S. João da Madeira a Águeda, e que segue, daí para baixo, em direcção a Tomar. Esta linha limita os dois principais elementos da morfologia da Península : a Meseta Ibérica (também designada por Maciço Hespérico) e a Orla Mesocenozóica Ocidental (Girão, 1922).

A zona para o interior, a Leste, ocupa os terços superior e médio da bacia e possui um relevo muito acentuado. Este é constituído por granitos e rochas do sistema xisto-graúváquico (os primeiros originam cumes elevados e as segundas formas arredondadas), com vales cavados e de paredes abruptas. Dobramentos originados pelos movimentos hercínicos e fracturas do tipo alpino condicionaram a rede hidrográfica, a qual se encontra subordinada a linhas de fractura com orientação NE-SW.

Da nascente (Serra da Lapa) até S. Pedro do Sul, a Cordilheira Central apresenta-se como uma superfície planáltica, sofrendo os efeitos da erosão. O lado Sul é formado pelo Caramulo, seguindo-se a serra do Buçaco. A Norte ficam as serras de Leomil, Montemuro e de Arada, que separam o Maciço Hespérico pertencente à bacia do Vouga do da bacia do Douro. (Faria e Machado, 1976;FBO *et al.*;1999;).

A Oeste desta linha a região é caracterizada por extensas zonas de planície, com aluviões e areias de dunas que constituem a Ria de Aveiro. Sucede-lhes depois uma faixa coberta por depósitos de praias antigas, as quais se desenvolvem para Sul de Aveiro, em grandes extensões.

No total, os terrenos pertencentes à Orla Mesocenozóica ocupam o terço inferior da bacia do Vouga.

### 3.3. Rede Hidrográfica

O rio que dá o seu nome à bacia tem um percurso de 148 km<sup>1</sup> desde o seu berço, na Serra da Lapa, a 930 m de altitude (Distrito de Viseu), até à foz, na Ria. Segundo Amorim Girão (1922), ao longo do seu percurso podem distinguir-se três secções distintas: entre a origem e S. Pedro do Sul, desde aí até Pessegueiro do Vouga, e finalmente, a parte dita navegável, que se estende por 50 km, até aos canais da Ria de Aveiro. Os afluentes principais são, na **margem direita**, os rios Caima, Mau, Arões, Teixeira, Varoso Sul e Mel e, na **esquerda**, o rio Águeda (com os seus afluentes Cértima, Alfusqueiro e Agadão), o rio Marnel, e as ribeiras de Ribamá e Brazela. O Cértima desagua no Águeda através da Pateira de Fermentelos. À Ria de Aveiro vão ainda desaguar, entre outros, a Norte, o Rio Antuã, através da lagoa do Laranjo, e a Sul o Rio Boco, hidrograficamente independentes do Vouga. Aparte estes troços principais, existem ainda diversas linhas de água tributárias, de menor importância. (FBO *et al.*, 1999., IDAD, 2002).

Com efeito, a Bacia do Vouga apresenta a particularidade de não possuir um rio “principal” bem diferenciado, tratando-se, com maior exactidão, de um conjunto de rios que desaguam muito perto da foz do Vouga, na zona lagunar, havendo ainda que considerar a extensa rede de canais e deltas relacionados com a própria Ria.

Esta particularidade levanta a questão da delimitação da área da bacia, se considerarmos que, mais do que o todo geográfico, se pretende aqui identificar a área de estudo com relevância para o problema das inundações, e a rede hidrográfica associada, a qual irá condicionar posteriormente a escolha das estações de monitorização a ter em conta. Voltaremos a este problema mais tarde.

### **3.4. Geologia**

#### 3.4.1 Enquadramento Geológico

Conforme já referido na secção 3.2, a Bacia do Vouga engloba duas grandes unidades morfoestruturais: a Orla Ocidental Mesocenozóica e o Maciço Antigo ou Hespérico. A primeira consiste sobretudo em formações Quaternárias e Cretácicas depositadas sobre um substrato de xistos argilosos ante Ordovícicos.

A segunda, que ocorre sobretudo na parte interior da bacia, é uma zona heterogénea, apresentando algumas áreas com metamorfismos de vários graus e tipos, e outras com abundância de formações de origem granítica. Identificam-se aí três grandes famílias litológicas: o Complexo Xisto-grauváquico, os quartzitos do Ordovícico e os granitos hercínicos. A divisória entre estas duas unidades coincide com uma falha geológica (a falha de Coimbra) que põe em contacto a Zona Centro Ibérica com a de Ossa Morena as quais, em conjunto, constituem o Maciço Hespérico (FBO *et al.*, 1999; SNIRH,2002).

#### 3.4.2 Maciço Hespérico

Os **xistos e grauvaques**, que apresentam cores escuras, ocupam áreas de dimensões significativas. Em alguns locais detecta-se a presença de quartzitos e algum grés, mas com elevado grau de deformação.

Quanto aos **quartzitos do Ordovícico**, surgem sempre em forma de cristais, sobretudo na região do Luso (serra do Buçaco), e entre o Carvoeiro (margens do Rio Vouga) e as Caldas de S. Jorge (Santa Maria da Feira), por um lado, e S. João da Madeira, por outro. As antigas minas da Talhadas, em Sever do Vouga, fazem parte desta crista quartzítica.

---

<sup>1</sup> Outros autores referem 135 ou 142 km. Esta discrepância deve-se à referenciação geográfica da foz considerar, ou não, a Barra de Aveiro. Optou-se por considerar o valor adoptado no Plano de Bacia Hidrográfica.

Por sua vez, as **formações graníticas** constituem uma importante mancha na bacia do rio Vouga. Em toda esta zona, a composição e textura do granito é fortemente heterogénea, relacionada com fases diversas de instalação. Assim, na zona de Aguiar da Beira predomina o granito monzonítico de grão grosseiro, porfiróide, o qual forma por vezes grandes massas compactas. Já perto de Castro Daire, em interessante batólito bem definido, é constituído por granitos e granodioritos, também porfiróides. Da zona norte de Viseu a Oliveira de Frades e Sever do Vouga aparecem os granitos de duas micas, por vezes granodioritos e granitos gnaissóides. (FBO *et al.*, 1999).

### 3.4.3 Orla Ocidental Mesocenozóica

Esta unidade desenvolve-se desde o Sul de Lisboa até perto de Ovar, correspondendo ao preenchimento de uma bacia sedimentar (Bacia Lusitana) por formações detríticas que tiveram origem sobretudo na erosão do Maciço Antigo (arenitos, argilas e margas e algumas formações carbonatadas).

O substrato é constituído por formações xistosas (xistos escuros, quartzo – -sericíticos e moscovíticos e, na parte oriental, micaxistos polimetamórficos). Sobre esta base impermeável encontram-se depositados **arenitos triássicos**, ocupando franjas importantes ao longo das margens do Vouga, entre Angeja e S. João de Loure. São designados popularmente como “pedra de Eirol”.

Junto de Aveiro, e estendendo-se para Norte até ao Vouga, e para Sul até Vagos, situa-se uma área importante de terrenos **cretácicos**, constituídos por arenitos (grosseiros e finos) e argilas.

Quanto aos depósitos **Quaternários**, geologicamente mais recentes, afloram em praticamente toda a zona do Baixo Vouga, sendo constituídos por aluviões, lodos, areias e argilas arenosas. A variabilidade litológica aqui é grande, evidenciando toda uma série de transformações e eventos geológicos vários que originaram estas formações. Não se pode esquecer ainda que esta zona sofreu também a influência da reabertura artificial da

“barra” de Aveiro, no século XIX, intervenção esta que devolveu a influência das marés e da mistura água doce/água salgada a um estuário que perdera, pouco a pouco, o contacto com o mar.

A sequência destes depósitos, da base para o topo, apresenta uma tendência granodecrescente, distribuindo-se da seguinte forma: um primeiro depósito de **cascalheiras e calhaus rolados**, que passa a **areões e areias**, à qual se seguem níveis de **lodos** com elevado teor de matéria orgânica, de espessura variável e por fim uma camada de **areias finas** que constituem dunas, desenvolvendo-se ao longo da costa mas por vezes chegando a penetrar no interior até longas distâncias (20 km).

Refira-se ainda a ocorrência, especialmente nas zonas inter-fluviais, de **praias antigas e terraços fluviais**. Alguns encontram-se apenas emersos durante o Verão, sendo constituídos por areias grosseiras, mais raramente intercaladas por argila.

### **3.5. Hidrogeologia**

Na zona do Maciço Hespérico, designado correntemente por Cristalino, por ser constituído por rochas metassedimentares e eruptivas, são escassas as aptidões aquíferas. São formações de baixa produtividade que se podem considerar como aquíferos muito pobres, em geral livres, e de muito baixa produtividade.

Na chamada Orla Ocidental Mesocenozóica, as principais formações aquíferas são o Sistema Aquífero Quaternário e o Sistema Aquífero Cretácico. No primeiro podemos distinguir, essencialmente, **dois subsistemas**: um superficial, aquífero freático superficial e o outro, mais profundo, o aquífero de base do Quaternário (Andersen *et al.*, 2001).

O Cretácico é formado por vários grupos multicamada, desenvolvendo-se geralmente a maior profundidade (excepto na área de afloramento).

Pode ainda considerar-se um terceiro sistema, de menor dimensão, que ocorre na parte Sul e Sudeste da Bacia, constituído por unidades

carbonatadas, designado por Sistema Cársico da Bairrada, ou Liásico a Norte do Mondego.<sup>2</sup>

### 3.5.1 Maciço Antigo

As formações geológicas dominantes nesta zona são, como referido na secção 3.4 (Geologia), os xistos e granitos, as quais, pelas suas características, originam recursos subterrâneos pouco abundantes.

A recarga do Cristalino é feita através da precipitação, sendo o armazenamento e o fluxo subterrâneos fracos, devido ao tipo de condições geológicas presentes e às condições de baixa permeabilidade. Aqui, dada a natureza dura das formações litológicas, a água subterrânea circula e é armazenada em fracturas, superfícies de diaclasamento ou de xistosidade. Quando a rocha se apresenta alterada, o fluxo dá-se também através dos poros intergranulares resultantes, sendo que os dois tipos de funcionamento hidráulico coexistem muitas vezes (trocas entre as fracturas e os poros intergranulares).

A distribuição dos dois tipos de rochas não é uniforme, sendo que na parte mais alta da bacia, nomeadamente no distrito de Viseu, predominam os granitos hercínicos, tendo as captações subterrâneas existentes caudais pouco expressivos (na ordem do 1 l/s), sendo a excepção constituída pelas termas de S. Pedro do Sul.

Na parte mais a oeste da bacia, até à linha de contacto com a Orla Ocidental Mesocenozóica, aparecem os xistos e outras rochas metamórficas. Aqui a produtividade das captações é maior, atingindo valores superiores a 2 l/s, com excepção das zonas de serra (Caramulo e Buçaco). Uma outra nascente termal aparece, contudo, nesta última (Luso), e aqui os caudais já oscilam entre os 80 e 120 l/s.

---

<sup>2</sup> Assinale-se ainda a existência de pequenas zonas aluvionares recentes, junto aos rios, nos quais existem captações altamente produtivas (ex.: Carvoeiro, no Rio Vouga e os furos de Águeda).

Em ambas as zonas existem águas com problemas de contaminação (minas, lixeiras, efluentes industriais, mas muito particularmente, actividades agrícolas)(Silva, 1999).

### 3.5.2 Orla Ocidental Mesocenozóica

Em relação ao **sistema Quaternário**, este é constituído, tal como anteriormente se refere, por duas unidades aquíferas, uma superficial livre, Aquífero Freático Superficial do Quaternário, constituído essencialmente por areias e outra inferior, Aquífero de Base do Quaternário, constituído por areias grosseiras e cascalheiras. Os dois estão separados por uma camada lodosa, funcionando como um aquífero, o que confere à Base do Quaternário condições hidráulicas de semi-confinamento. As formações geológicas que o constituem são permeáveis, do tipo areno-argilosas, arenosas com seixos e cascalheiras dos aluviões, praias e terraços fluviais. O substrato é constituído por xistos, formando uma base impermeável. Tem-se assim um sistema aquífero poroso, multicamada, de espessura variável, raramente excedendo os 50 metros, com a zona Superficial estendendo-se até cerca de 15 metros, elevada permeabilidade e boas características hidráulicas. Na composição química da água predominam bicarbonatos e cloretos.

Os valores de transmissividade são elevados (mediana de  $260 \text{ m}^2/\text{dia}$ ), ao passo que o coeficiente de armazenamento varia entre  $10^{-3}$  e  $6 \times 10^{-4}$ .

A recarga é feita quase exclusivamente através da precipitação, e a descarga faz-se para o mar, directamente ou através da rede hidrográfica, ou, quando as condições piezométricas o permitem, para o aquífero Cretácico (Andersen *et al.*, 2001; Brites & Galvão, 1996; SNIRH, 2000).

Os caudais são variáveis, sendo a produtividade média 15 l/s (Cristo, 1988; Brites & Galvão, 1996; SNIRH, 2000).

Note-se que a elevada permeabilidade das formações superficiais tornam o aquífero quaternário muito vulnerável à contaminação através de infiltrações no solo. Na zona em causa, um estudo do Instituto Geológico e

Mineiro, de 1996 permitiu identificar contaminação das águas subterrâneas por nitratos, resultado de práticas agro-pecuárias intensivas (Brites & Galvão, 1996). A zona a Oeste do complexo Químico de Estarreja encontra-se igualmente muito poluída por efluentes industriais, e na interface entre a Ria e o mar encontram-se águas altamente cloretadas. No entanto, ainda não se encontram delimitados perímetros de protecção para as captações públicas existentes na região, como é obrigatório pelo DL 382/99, de 22 de Setembro (Guedes, 2000).

Quanto ao **Sistema Multiaquífero Cretácico**, este estende-se para Oeste, coincidindo o seu limite emerso com a linha da costa. A NE e a Leste, estende-se até à zona de contacto com o Maciço Antigo, e a Sul e SE, toca os afloramentos dos calcários do Liásico. É constituído essencialmente por arenitos grosseiros, com intercalações argilosas, calcários, margas e arenitos micáceos. (Almeida *et al.*, 2000). O conjunto forma um sistema aquífero multicamada, com vários subsistemas sobrepostos, os quais apresentam piezometrias e produtividades distintas. Hidraulicamente, apresenta características de cativo, sendo o tecto formado pela unidade cretácica mais recente, argilosa, o que lhe confere protecção contra as entradas de água de origem marinha e a contaminação antrópica. Na zona mais oriental existe contacto com o Quaternário, através de camadas permeáveis. A recarga é feita directamente através da precipitação, da drenagem diferida a partir dos rios Vouga e Águeda, da alimentação diferida do subsistema Quaternário, através das referidas superfícies de contacto, e de alguma alimentação lateral proveniente dos calcários do Liásico. Esta recarga é, porém, inferior às extracções, pelo que se exploram agora águas antigas (entre 5.9 e 35 mil anos). Os níveis piezométricos encontram-se assim, abaixo do nível do mar, existindo fluxo no sentido mar-terra a partir da porção submarina das formações produtivas.

É o sistema mais explorado na parte terminal da bacia do Vouga, variando a sua produtividade entre os 5 e os 40 l/s, com uma mediana de 15 l/s. A transmissividade tem uma mediana de 200 m<sup>2</sup>/d, apresentando o

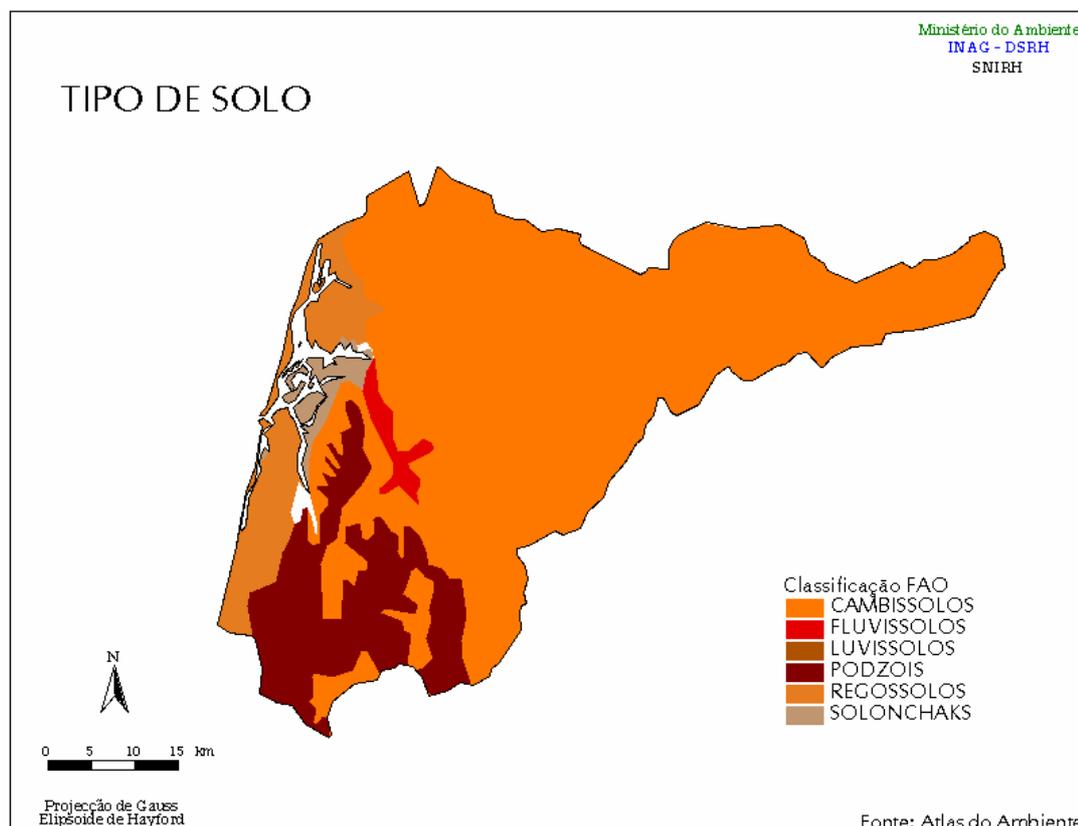
coeficiente de armazenamento valores entre  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  (FBO *et al.*,1999; Almeida *et al.*, 2000; SNIRH, 2000). A entrada em funcionamento do sistema de abastecimento intermunicipal do Carvoeiro permitiu, no entanto, a interrupção da utilização de muitas destas captações, esperando-se que, de acordo com as observações efectuadas até agora, haja uma recuperação dos níveis piezométricos.(Silva, 1999).

A água tem uma composição bicarbonatada cálcica, ou cálcico-sódica, tornando-se o carácter sódico progressivamente dominante em direcção ao litoral.

Finalmente, em relação às formações carbonatadas do **Liásico**, estas desenvolvem-se na parte Sul da Bacia, e, em alguns casos, com produtividades elevadas, como é o caso dos Olhos da Fervença (concelho de Cantanhede, com poços de 200 l/s) ou de algumas captações em Anadia. São aquíferos carsificados, estando a sua produtividade relacionada com o desenvolvimento do carso. A vulnerabilidade a contaminações é proporcionalmente grande, devida à facilidade de penetração dos contaminantes através desta formação.

### 3.6. Solos

**Figura 3.1 – Classificação dos tipos de solo na Bacia Hidrográfica do Vouga**



A maior parte dos solos da bacia em estudo pertence aos **aluvissohos modernos**, sujeitos a hidromorfismo mais ou menos intenso, e por vezes a halomorfismo. São solos que evoluíram a partir de sedimentos de origem predominantemente fluvial, apesar da sua deposição poder ter ocorrido em ambiente estuarino.

O teor de matéria orgânica destes solos é normalmente elevado nas camadas superficiais, variando o grau de decomposição com o encharcamento. Em solos hidromórficos a decomposição é em geral incompleta, mas nos solos do rio Vouga e afluentes é frequente a existência de um horizonte  $A_1$  bem definido. Nas camadas inferiores os

teores de matéria orgânica decrescem, embora apareçam, esporadicamente, em camadas profundas, permanentemente encharcadas, teores elevados.

Nestes solos, as fracções granulométricas dominantes são os limos e as areias (muito fina e fina). O teor de argila varia entre 14 a 24 %. As fracções finas são dominantes, aparecendo contudo os elementos grosseiros, cascalho e calhau nas camadas inferiores com alguma frequência.

O pH destes solos é normalmente ácido, aumentado em profundidade. Apresentam uma boa drenagem interna, apreciável quantidade de matéria orgânica, conforme dito atrás, e razoável porosidade. A presença de horizontes freáticos relativamente próximos da superfície pode introduzir, contudo, algumas limitações ao seu uso.

Quanto aos **solos halomórficos**, estes são solos que apresentam quantidades excessivas de sais solúveis e /ou teor relativamente elevado de sódio de troca no complexo de adsorção. Definem-se dois grupos de solos conforme a percentagem de sais solúveis, expressa em cloreto de sódio. Se for superior a 0.2 têm-se solos halomórficos de salinidade elevada (Ass) ; caso contrário trata-se de solos halomórficos de salinidade moderada (As).

Em relação aos solos salinos, convém esclarecer que a salinidade se define pela existência de sódio na solução do solo, sendo que a presença do ião sódio no complexo de adsorção se designa como alcalinidade.

Já os **solos hidromórficos** são solos sujeitos a encharcamento permanente ou temporário, o que provoca intensos fenómenos de redução em parte do perfil. Se o nível freático se encontrar próximo da superfície todo o ano, ocorrendo condições anaeróbias, todo o perfil poderá apresentar características de redução. Nas margens do Rio Vouga este fenómeno é frequente, provocando igualmente condições de acidez (Andersen *et al.*,2001).

### **3.7. Vegetação e Fauna**

#### **3.7.1 Vegetação**

No sector florestal, as espécies dominantes na bacia são o pinheiro bravo e o eucalipto, as quais ocupam mais de 90% da área florestal. Esta última espécie encontra-se a alargar a sua área em detrimento das outras (Costa *et al.*, 1996). Conforme se pode verificar na secção 4.9.2, a taxa de arborização neste território é bastante elevada, sendo que 48% da área da bacia é ocupada por floresta, apresentando duas das Unidades Hidrológicas Homogéneas taxas superiores a 50% (Médio Vouga Direito e Esquerdo).

Além destas espécies florestais, identificam-se ainda outras formações, como carvalhais, soutos, matas de sobreiros e algumas matas ribeirinhas. A espécie frutífera dominante é a laranjeira (Faria & Machado, 1976).

A intervenção humana na paisagem da bacia é notória, uma vez que esta região é habitada desde há muito. Assim, actividades como a agricultura, o corte selectivo, a introdução de espécies, o pastoreio e até o fogo alteraram a paisagem natural. Aos carvalhais primitivos sucedeu o souto e o pinhal e, mais recentemente, o eucaliptal (FBO *et al.*, 1999; IDAD, 2002).

Nas áreas marginais da bacia surgem formações como dunas, sapais, juncais e zonas de turfeira. A zona da Ria de Aveiro, com os seus fundos permanentemente cobertos ou esporadicamente a descoberto, apresenta-se ocupada por vegetação aquática (moliço), que no passado foi utilizada para enriquecimento dos solos agrícolas. Segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do Vouga, 1999, foram identificadas 49 espécies diferentes de algas e 12 de espermatófitas.

#### **3.7.2 Fauna**

A fauna identificada na zona da bacia hidrográfica é comum no território nacional, destacando-se as espécies indicadas nos quadros seguintes, por pertencerem a grupos ameaçados.

**Tabela 3.1 – Espécies ameaçadas presentes na Bacia do Vouga**

**Anfíbios**

<b>Nome Vulgar</b>	<b>Espécie</b>
Salamandra lusitânica	<i>Chioglossa lusitanica</i>

**Répteis**

<b>Nome Vulgar</b>	<b>Espécie</b>
Lagarto de água	<i>Lacerta schreiberi</i> (Bedriaga)
Lagartixa da montanha	<i>Lacerta monticola</i>

**Avifauna**

<b>Nome Vulgar</b>	<b>Espécie</b>
Garça vermelha/Garça imperial	<i>Ardea purpurea</i> (Linnaeus)
Garça branca pequena	<i>Egretta garzetta</i> (Linnaeus)
Garça pequena/Abetardo galego	<i>Ixobrychus minutus</i> (Linnaeus)
Cegonha branca	<i>Ciconia ciconia</i> (Linnaeus)
Tartaranhão ruivo paus/Águia sapeira	<i>Circus aeruginosus</i> (Linnaeus)
Tartaranhão azulado	<i>Circus cyaneus</i>
Tartaranhão caçador/Águia caçadeira	<i>Circus pygargus</i> (Linnaeus)
Milhafre real	<i>Milvus milvus</i>
Milhafre preto	<i>Milvus migrans</i> (Bodd.)
Falcão peregrino	<i>Falco peregrinus</i> (Tunst.)
Perna longa/Pernilongo	<i>Himantopus himantopus</i> (Linnaeus)
Gaivinha paus	<i>Chlidonias hybrida</i> (Pall.)
Gaivinha anã	<i>Sterna albifrons</i> (Pall.)
Bufo real ou corujão	<i>Bubo bubo</i> (Linnaeus)
Noitibó da Europa	<i>Caprimulgus europaeus</i> (Linnaeus)
Guarda rios/pica peixe	<i>Alcedo atthis</i> (Linnaeus)
Calhandrinha comum	<i>Calandrella brachydactyla</i>

Cotovia pequena	<i>Lullula arborea</i> (Linnaeus)
Petinha campos	<i>Anthus campestris</i> (Linnaeus)
Pisco peito azul	<i>Luscinia svecica</i> (Linnaeus)
Felosa do mato	<i>Sylvia undata</i> (Bodd.)

### Mamíferos

Nome Vulgar	Espécie
Toupeira de Água	<i>Galemys pyrenaicus</i> (Geoffroy)
Morcego boreal	<i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber)
Morcego rato grande	<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen)
Toirão	<i>Mustela putorius</i> (Linnaeus)
Geneta	<i>Genetta genetta</i> (Linnaeus)
Gato bravo	<i>Felis silvestris</i> (Schreber)
Lobo	<i>Canis lupus</i>

Fonte: ICN, 1999; *FBO et al.*, 1999.

No que diz respeito à ictiofauna, foram identificadas na bacia 16 espécies, 44% das quais pertencem à Família Cyprinidae. As trutas e o escalado-norte são comuns no troço superior do Vouga, ao passo que na restante área da bacia a pardelha é a espécie dominante. O barbo e a boga são também comuns no troço médio.

Em termos conservacionistas e comerciais identificam-se algumas espécies valiosas, tais como a savelha, a lampreia, a lampreia de rio, a enguia e a truta.

### **3.8. Clima**

#### 3.8.1 O sistema climático e os seus componentes

O clima da Terra resulta da interacção dos diversos componentes do ecossistema (atmosfera, biosfera, hidrosfera, litosfera e criosfera). O grau de complexidade destas interacções é elevado, uma vez que são muitos os factores responsáveis pela formação do clima e as suas variações. Mas o que é, de facto, o **clima** ? No fundo, representa a média do tempo, ou das condições climatéricas, num período de tempo relativamente extenso, modulado pelo ciclo sazonal (Bernardes & Guedes,2000).

As condições meteorológicas num dado local são descritas por determinados parâmetros que são observados e medidos em **estações meteorológicas** (pressão atmosférica, temperatura e humidade do ar, direcção e velocidade do vento, radiação solar, insolação, evaporação, características das nuvens e dos meteoros, precipitação, estado do solo ou do mar, etc.). Através da indicação quantitativa e qualitativa destes descreve-se o estado físico da atmosfera e da superfície do globo, e ainda os fenómenos meteorológicos que ocorrem nesse local numa dada ocasião ou intervalo de tempo considerado.

Assim, o clima de um local será descrito pela média dos valores dos elementos climáticos considerados num ano, num grupo de meses, no mês ou fracção deste e ainda pela frequência média de ocorrência de fenómenos meteorológicos e de valores escolhidos de alguns elementos climáticos.

Quando se consideram estes mesmos elementos, há que distinguir entre os chamados **elementos climáticos simples** (elementos meteorológicos que se medem ou observam nas estações) e **elementos complexos** (definidos a partir dos primeiros e de parâmetros apropriados à descrição de aspectos especiais do clima).

A escolha dos elementos climáticos e dos fenómenos considerados depende do fim a que se destina a descrição (agricultura, hidráulica, saúde

pública, operações militares, etc.). Para o cálculo dos valores médios e das frequências de ocorrência, deve optar-se por um período de tempo suficientemente grande para que os valores obtidos descrevam situações consideradas “normais”, excluindo o que é transitório ou excepcional. São também de interesse para a descrição do clima, os valores extremos (máximos e mínimos) obtidos durante o mesmo período de tempo.

Os factores do clima são os factores permanentes (cósmicos e fisiográficos) das condições meteorológicas e também os factores eventuais que, pela sua frequência ou intensidade, as podem afectar. (Faria & Machado, 1976).

Existem, genericamente, três tipos de factores que condicionam a formação do clima : os eventos que ocorrem fora da Terra; os eventos naturais que ocorrem na Terra e as actividades antropogénicas.

No primeiro caso, tem-se a energia solar, uma vez que qualquer variação nesta tem um efeito significativo nas condições meteorológicas; no segundo, a listagem é extensa: a tectónica de placas, o vulcanismo, a variação da composição da atmosfera e da sua quantidade de movimento, a biosfera (através da síntese e decomposição da matéria orgânica), o oceano (acção das correntes oceânicas e a interacção oceano-atmosfera), a litosfera e a criosfera (essencialmente devido às diferenças no albedo - proporção da radiação que é reflectida e às variações na estrutura e extensão da cobertura de gelo); finalmente, em relação às actividades humanas, a sua influência no clima prende-se com a libertação de gases com efeito de estufa e com a alteração da superfície da terra (Bernardes, & Guedes, 2000).

### 3.8.2 O clima da bacia do Vouga

As condições meteorológicas em Portugal Continental caracterizam-se por uma distribuição assimétrica do regime sazonal e interanual das principais variáveis climáticas, o que transmite ao regime de escoamento uma irregularidade muito acentuada. Relativamente à distribuição da precipitação, os principais factores condicionantes são a posição em

latitude, altitude e o afastamento em relação ao mar, o que associado à topografia, acentua e evidencia os contrastes climáticos. A divisão entre o Litoral Norte e Centro, mais húmido e com precipitação mais elevada, propicia uma maior frequência de situações de cheia nos meses de Inverno (Plano de Bacia Hidrográfica dos Rios Luso-Espanhóis, 1998).

A caracterização climatológica da Bacia do Vouga, aqui apresentada, baseia-se sobretudo nos estudos já efectuados por diversas entidades, nomeadamente através dos dados fornecidos pela rede climatológica existente na própria bacia do Vouga, e ainda dos postos pluviométricos da responsabilidade da DRA Centro. Assim, compilando as informações fornecidas pelo Instituto de Meteorologia, o INAG (através do site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), pelas publicações da própria ex-DRAOT-C e pelo "Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga", foi possível estabelecer um "retrato climatológico" da bacia.

No total foram consideradas 4 estações, com uma malha de distribuição de que procurou cobrir a bacia de forma homogénea.

A **precipitação** média anual ponderada sobre a bacia é de 1387 mm, ocorrendo os maiores valores médios anuais na serra do Caramulo e os menores na zona do baixo Vouga Lagunar (1000 mm). O regime pluviométrico caracteriza-se por um semestre chuvoso, na estação fria, e um semestre seco que corresponde à estação quente, características típicas de um clima mediterrâneo.

Em relação à distribuição sazonal da precipitação, sabe-se que, em média, 75 % se concentra no semestre húmido (Outubro- Março). Verifica-se ainda que o mês mais chuvoso é Dezembro, e os meses mais secos Julho e Agosto.

Estes dados serão desenvolvidos no Capítulo 4 (Caracterização Hidrometeorológica).

Em relação à **temperatura**, a média anual varia entre 12-15°C, diminuindo gradualmente da zona costeira para o interior. Os valores médios mensais da temperatura diária são máximos entre Julho e Agosto e mínimos em

Dezembro e Janeiro. A amplitude térmica varia entre um mínimo no litoral de 8°C, e um máximo no interior de 14°C.

Os valores extremos absolutos da temperatura do ar são mínimos entre Dezembro e Janeiro, com registos de -7°C no Caramulo e -12°C em Moimenta da Beira, e são máximos em Julho e Agosto, variando entre 40°C em Anadia e 32°C em Bigorne.

Atendendo a que a classificação climatológica de uma região é feita através de índices climatológicos que se baseiam, na sua maioria, nestes dois parâmetros meteorológicos (a precipitação e a temperatura), os dados disponíveis para a bacia hidrográfica do rio Vouga permitem enquadrá-la como apresentando um clima do tipo **Csb**, mesotérmico (temperado) húmido, com estação seca no Verão, o qual é moderadamente quente mas extenso (INAG, 1999). É um tipo climático mediterrânico, moderado pela influência oceânica (Classificação de Köppen, 1936); segundo Thornthwaite, poderá também classificar-se como um clima húmido mesotermal (tipo **a'**) (COBA; 1975).

**C**- temperatura média do mês mais quente superior a 10°C e do mês mais frio inferior a 18°C e superior a -3°C.

**s**- precipitação ocorre no Inverno, sendo a precipitação do mês mais chuvoso 3 vezes superior à do mês mais seco, sendo esta sempre inferior a 30 mm.

**b**- os quatro meses mais quentes têm temperaturas médias superiores a 10°C, mas a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22,0°C (FBO *et al.*, 1999).

### **3.9. Sócio Economia**

#### 3.9.1 Demografia

A população total residente na Bacia Hidrográfica do rio Vouga (Censos 2001, resultados provisórios) é de 938265 habitantes, repartidos por 30 concelhos, os quais se encontram integrados nas unidades territoriais Norte e Centro (NUTE II) e Entre Douro e Vouga, Baixo Vouga, Baixo Mondego, Dão Lafões e ainda 1 concelho do Douro (Sernancelhe), todos NUTE III (INAG,1999;INE,2001).

A distribuição demográfica no espaço da bacia segue os padrões do resto do território nacional, verificando-se um abandono progressivo das terras do interior. Assim, a ocupação da bacia do Vouga, que inicialmente apresentava maior expressão no distrito de Viseu, com especial destaque para os concelhos de S. Pedro do Sul, Vouzela e Oliveira de Frades, viu progressivamente esse destaque a passar para o distrito de Aveiro.

Actualmente, os núcleos urbanos mais importantes são Aveiro, Oliveira de Azeméis e Águeda, destacando-se os seguintes concelhos como os mais populosos: Santa Maria da Feira (135941 hab.), Viseu (93502 hab.), Aveiro (73136 hab.) e Oliveira de Azeméis (70699 hab.). Note-se que o concelho mais populoso não é, curiosamente, onde se localiza a capital do respectivo distrito, embora o núcleo urbano com maior número de habitantes seja precisamente uma das capitais de distrito (Aveiro).<sup>3</sup>

A evolução demográfica fez-se de forma distinta nas NUTES da Bacia. Assim, a região de Entre Douro e Vouga caracteriza-se por apresentar uma dinâmica populacional e económica activa, manifestada, ao nível populacional, pelo acréscimo de população, que prevendo-se que este se continue a verificar. A NUTE III Baixo Vouga segue a mesma tendência, assumindo um peso crescente na região centro. Por seu lado, a NUTE III Baixo Mondego (aqui representada pelos concelhos de Mira e Cantanhede), já apresenta um comportamento diferente das anteriores,

---

<sup>3</sup> Note-se, que, à semelhança do convencionado no Plano de Bacia Hidrográfica do Vouga, o núcleo urbano de Viseu não foi considerado como fazendo parte da bacia hidrográfica.

uma vez que tem apresentado um decréscimo populacional, tendência que se espera que continue. Por fim, a NUTE III Dão Lafões exhibe igualmente um quantitativo populacional a decrescer.

**Tabela 3.2 – Número de Habitantes da Bacia Hidrográfica do Vouga: Distribuição por Concelho segundo dados dos Censos 2001.**

<b>Distrito</b>	<b>Região</b>	<b>Concelho</b>	<b>Habitantes</b>
<b>AVEIRO</b>	<b>Baixo Vouga</b>	Águeda	49016
		Albergaria-a Velha	24612
		Anadia	31574
		Aveiro	73136
		Estarreja	28217
		Ílhavo	37103
		Mealhada	20763
		Murtosa	9391
		Oliveira do Bairro	21216
		Ovar	55178
		Vagos	22045
		Sever do Vouga	13183
	<b>Entre Douro e Vouga</b>	Arouca	24233
		Oliveira de Azeméis	70699
		Santa Maria da Feira	135941
		São João da Madeira	21022
		Vale de Cambra	21787
<b>VEISEU</b>	<b>Dão Lafões/Douro<sup>4</sup></b>	Castro Daire	16990
		Mortágua	10379
		Oliveira de Frades	10585
		S. Pedro do Sul	19083
		Sátão	13144
		Sernancelhe	6227
		Tondela	31152
		Vila Nova de Paiva	6141
		Viseu	93502
		Vouzela	11916
<b>GUARDA</b>	<b>Dão Lafões</b>	Aguiar da Beira	6247
<b>COIMBRA</b>	<b>Baixo Mondego</b>	Cantanhede	37911
		Mira	12872
<b>TOTAL</b>			938265

Dados obtidos a partir do Instituto Nacional de Estatística (<http://www.ine.pt>, 2001).

<sup>4</sup> O Concelho de Sernancelhe pertence já à região do Douro, embora faça parte do Distrito de Viseu.

### 3.9.1.1. Aspectos regionais

A diversidade reinante na geografia da bacia do Vouga é descrita por diversos autores. Em particular Girão, (1922) e Arroiteia, (1996), identificam um conjunto de regiões naturais que se distinguem pela geografia física e humana, nomeadamente nos aspectos do solo, clima, paisagem e ocupação humana.

A mais interior e também a mais extensa é a de **Lafões** (abrangendo os concelhos de S. Pedro do Sul, Vouzela e Oliveira de Frades e uma pequena parte dos concelhos de Viseu, Castro Daire e Sever do Vouga), que se distingue pela “constituição geológica dos terrenos, culturas em socalco, um tipo especial de vinho verde e uma sub-raça distinta de bovinos” (Girão, 1922). Note-se, como curiosidade que as actuais Termas de S. Pedro do Sul eram designadas como *Caldas de Lafões*. Segundo Arroiteia, 1996, os dados demográficos disponíveis indicam sintomas de repulsão demográfica, elevados índices de analfabetismo e uma população envelhecida. Aí se encontram igualmente os maiores valores relativos à ocupação dos seus habitantes no sector primário.

A sul desta surge o **Caramulo**, denominada a partir da serra sobre a qual se localiza (estende-se pelos concelhos de Vouzela, parte de Oliveira de Frades e Tondela e ainda uma pequena fatia dos municípios de Águeda e Mortágua) sendo “caracterizada pela cultura do centeio e pela criação de gado ovino e bovino, sendo que aí teve a origem a raça caramuleira” (Girão, 1922). No presente, o concelho de Águeda é um dos mais industrializados desta área. Em 2001, cerca de 60% da sua população activa empregava-se em actividades industriais.

Na zona mais a norte da bacia do Vouga, a sub-região de **Paiva**, “...montanhosa, corresponde ao maciço da Gralheira” (Girão, 1922). A ela pertencem os municípios de Sever do Vouga, Oliveira de Azeméis e parte de Santa Maria da Feira. Dá o nome a esta região o rio Paiva, chamado antigamente de Pavia (Girão, 1922; Arroiteia, 1996).

Ultrapassando os contrafortes da Serra das Talhadas, surge uma outra região (antigamente conhecida com “terras de riba de Vouga”, a **Ribeira**

é, segundo Girão, 1922 .”...zona de transição das terras altas do interior para as terras baixas do litoral”. Esta área abrange parte de Sever do Vouga Águeda e, na sua maior extensão, Albergaria-a-Velha. Este concelho caracteriza-se actualmente pela crescente industrialização e predomínio de população jovem e adulta (Arroteia, 1996).

Ocupando os terrenos ceno-antropozóicos do litoral, a **Bairrada**, a sul desta unidade geográfica, localizando-se entre o **Caramulo** e a chamada **Marinha**, abarca parte do concelho de Águeda, Oliveira do Bairro, Anadia, Mealhada e ainda uma pequena parte do concelho de Cantanhede. Caracterizou-a especialmente Girão (1922), “...pela cultura da vinha...”. De facto, uma parte significativa da população ocupa-se ainda hoje na agricultura, em particular em Oliveira do Bairro. Nos outros concelhos, a indústria e os serviços assumem uma expressão muito maior (cf. Águeda, como já mencionado)(Arroteia, 1996).

A Oeste de todas as regiões indicadas, situa-se a **Marinha** ou **Borda de Água**. Ocupando todo o litoral na zona envolvente à **Ria**, estende-se pelos concelhos de Ovar, Estarreja, Aveiro, Ílhavo, Mira e Vagos, abrangendo ainda a parte ocidental do concelho da Feira. Aqui, as actividades agrícolas predominam em Vagos, e a indústria em Ovar. Os serviços assumem maior destaque em Aveiro e Ílhavo (Girão, 1922; Arroteia, 1996).

Finalmente, incluída na sub-região da **Marinha**, e dividindo-a em duas partes, encontram-se as sub-regiões da **Ria, Gafanha e Gândara**.

A **Ria**, designação que muitas vezes se alarga a parte da **Ribeira** e da **Marinha**, abrange as terras marginais do esteiro, sobretudo na vizinhança da foz do Vouga ( parte de Ovar, Estarreja, Aveiro, Ílhavo e Vagos). Girão (1922) refere: “... um tipo de vinho maduro diferente do tipo Bairrada...” e a originalidade dos *moliceiros*.

A **Gafanha**, estendendo-se pelos concelhos de Ílhavo e Vagos, é uma antigo areal ocupado pelo homem, ao passo que a **Gândara** é a designação pela qual se conhece uma mancha de terreno que se estende entre o Vouga e o Mondego, cercada pelas areias do litoral.

### 3.9.1.2. Distribuição populacional

Relativamente à distribuição populacional, os censos de 1991 registaram o predomínio de população jovem e adulta relativamente aos outros grupos populacionais. Em relação aos idosos, a sua expressão mais significativa surge nas terras mais interiores da bacia do Vouga, o que confirma a avaliação do comportamento demográfico desta região, feita em 3.9.1. Aqui, a importância dos movimentos migratórios (externos e internos) surge claramente (Arroteia, 1996). Esta tendência tem vindo a agravar-se na última década, conforme o demonstram os resultados do recente censo de 2001. Assim sendo, em termos de caracterização demográfica, identificam-se claramente na bacia do Vouga duas áreas distintas :

- Uma Zona Litoral Norte, que apresenta maiores índices de crescimento demográfico, localizada no eixo Aveiro-Feira. Neste caso, saliente-se que Aveiro tem funcionado como um pólo de dinamização do desenvolvimento das áreas em redor, e também o enorme crescimento do concelho da Feira que, entre 1991 e 2001 viu a sua população passar de uns modestos 37167 habitantes para 135941, transformando-se no concelho mais populoso da bacia.
- Uma Zona Interior, onde o decréscimo populacional é mais acentuado, em especial nos concelhos de Vila Nova de Paiva, Aguiar da Beira e Sátão.

Os dados demográficos analisados revelam uma concentração da população nos centros urbanos. De facto, o Relatório do Estado de Ordenamento do Território, de 1997, refere especificamente que o núcleo composto por S. João da Madeira, Santa Maria da Feira e Ovar é considerado um eixo urbano com crescente capacidade atractiva. (Costa *et al.*, 1996; INAG, 1999).

Nesta bacia hidrográfica, a população flutuante é maioritariamente composta por população em residências secundárias (estudantes, trabalhadores deslocados). O turismo tem pouco peso neste tipo de

população (21%), sendo Aveiro, Anadia, Murtosa e Ílhavo os concelhos com maior número de turistas (INE, 2001).

Relativamente às chamadas migrações pendulares (representam aqui a atractividade em termos de emprego de um concelho), existem três centros geográficos preferenciais: Aveiro, S. João da Madeira e Viseu, o que ressalta a sua expansão económica. Mais uma vez se destaca a diferenciação do litoral (Aveiro, S. João da Madeira) em detrimento do interior, onde apenas surge Viseu (INAG,1999).

### 3.9.2 Ocupação do Solo

A ocupação do solo na bacia do Vouga tem vindo a sofrer uma evolução que aponta para um aumento das áreas de floresta (resinosas) e pela diminuição progressiva da generalidade das áreas agrícolas, com excepção do aumento percentual das áreas de regadio. No território abrangido por esta bacia hidrográfica, cerca de 48% é ocupado por áreas de floresta.

O litoral da Bacia apresenta maiores potencialidades em termos de solo agrícola, ao passo que no interior a aptidão é fundamentalmente florestal (Costa *et al.*, 1996).

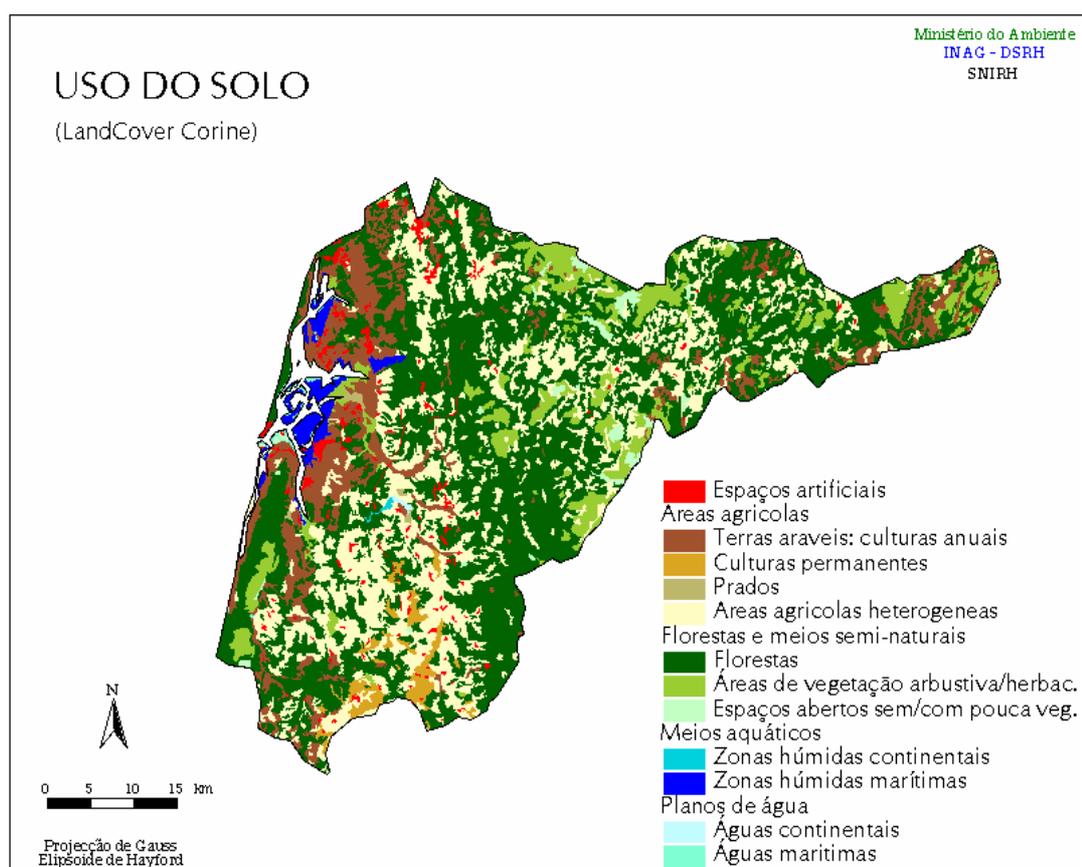
Em termos de representatividade, e de acordo com a análise feita segundo a carta CORINE (1985 e 1990), as culturas com maior expressão no território abrangido eram as anuais de sequeiro e prados permanentes, distribuídas um pouco ao longo de toda a bacia, com predominância do litoral. Em 1990, surgem as áreas correspondentes ao regadio, igualmente com distribuição na totalidade da bacia, e as zonas ocupadas por resinosas e folhosas.

Em relação às outras classes de ocupação, destaca-se o aumento das zonas artificializadas, em especial os espaços urbanos, ao passo que outras classes, como meios semi-naturais, zonas húmidas e zonas

degradadas não registaram variações significativas nesse período (INAG, 1999).

A figura 3.2 representa a ocorrência dos diferentes tipos de ocupação de solo na bacia hidrográfica, segundo a Carta Corine.

**Figura 3.2 – Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Vouga**



Fonte: Atlas do Ambiente, 2002 (SNIRH)

Na tabela seguinte, apresenta-se a evolução da distribuição da ocupação do solo na bacia entre 1990 e 1995. Os dados de 1995 provêm da carta de Ocupação do Solo do Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) e os de 1990 da Carta Corine.

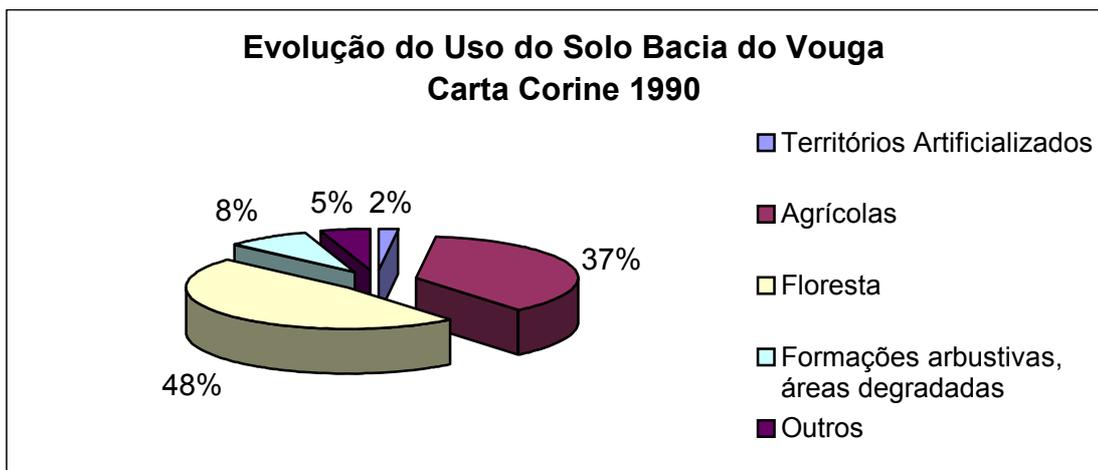
**Tabela 3.3 – Evolução da Ocupação do Solo entre 1990 e 1995 na Bacia do Vouga**

	<b>Classes</b>	<b>Corine (ha)</b>	<b>Corine (%)</b>	<b>Uso do Solo (ha)</b>	<b>Uso do Solo (%)</b>
<b>1</b>	<b>Territórios Artificializados</b>	<b>7046</b>	<b>1.9</b>	<b>22820</b>	<b>6.2</b>
1.1	Urbano	5333	1.4	19733	5.3
1.2	Zonas Industriais	1713	0.5	2868	0.8
1.3	Espaços verdes artificiais	0	0	219	0.06
<b>2</b>	<b>Agrícolas</b>	<b>137789</b>	<b>37.3</b>	<b>110541</b>	<b>29.8</b>
2.1	Culturas anuais de sequeiro e prados permanentes	70843	19.2	29084	7.8
2.2	Regadio	0	0	40738	11.0
2.3	Arrozais	177	0.05	7	0.00
2.4	Pomares	22103	6.0	14476	3.9
2.5	Mosaico policultural	38649	10.5	23042	6.2
2.6	Mosaico agroflorestal	6017	1.6	3194	0.9
<b>3</b>	<b>Floresta</b>	<b>175331</b>	<b>47.4</b>	<b>178535</b>	<b>48.2</b>
3.1	Folhosas	77995	21.1	55035	14.8
3.2	Resinosas	97336	26.3	123500	33.3
<b>4</b>	<b>Formações arbustivas, áreas degradadas</b>	<b>30771</b>	<b>8.3</b>	<b>38003</b>	<b>10.3</b>
<b>5</b>	<b>Meios semi-naturais</b>	<b>5721</b>	<b>1.5</b>	<b>7805</b>	<b>2.1</b>
5.1	Improdutivos	41	0.01	51	0.01
5.2	Zonas descobertas sem ou pouca vegetação	5680	1.5	7754	2.1
<b>6</b>	<b>Zonas Húmidas</b>	<b>13069</b>	<b>3.5</b>	<b>12913</b>	<b>3.5</b>

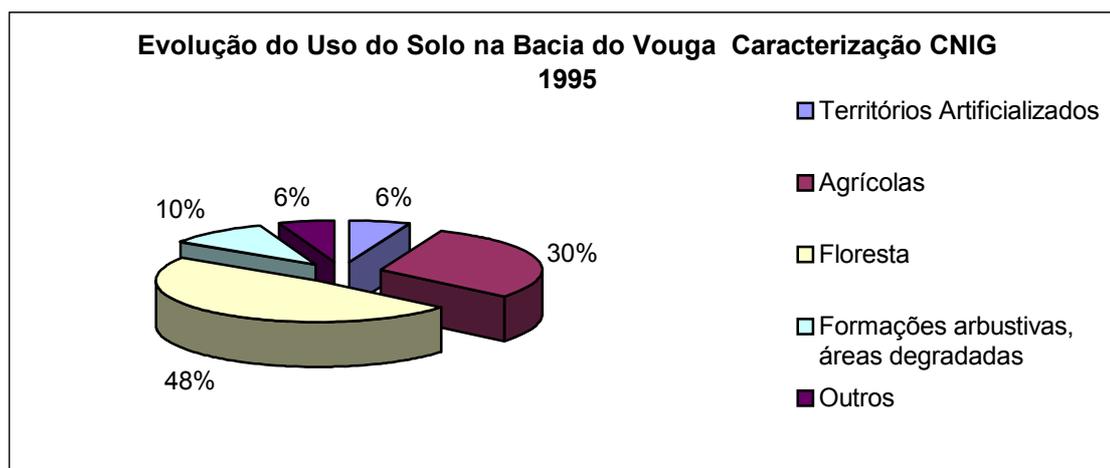
Fonte: FBO *et al.*, Plano de Bacia Hidrográfica do Vouga, 1999

Os gráficos seguintes traduzem a informação da tabela 3.3

**Gráfico 3.1 – Uso do Solo na Bacia do Vouga CORINE 1990**



**Gráfico 3.2- Uso do Solo na Bacia do Vouga CNIG 1995**



As classes que se apresentam na tabela e nos gráficos acima foram elaboradas de acordo com tipos de ocupação do solo, segundo critérios que privilegiaram a importância do uso do solo em termos hidrológicos, e ainda se esta era eventualmente geradora de poluição (FBO *et al.*, 1999). No conjunto de classes analisadas, destacam-se as seguintes:

- **Territórios Artificializados:** tecidos urbanos, vias de comunicação e zonas industriais. Contabilizam-se também os verdes urbanos, por constituírem áreas relativamente pequenas, no interior do tecido citadino.

Neste grupo encontram-se assim abrangidas as áreas com maior grau de impermeabilização e geradoras de poluição tóxica. Este tipo de ocupação do solo constitui um bom indicador do grau de ocupação humana e consequentemente da artificialização da área em estudo.

- **Regadios e Arrozaís:** este tipo de procurar comparar as zonas abrangidas por um tipo de ocupação associada a uma agricultura intensiva e indutora de poluição difusa, a qual é também um dos grandes consumidores de água da bacia.
  - **Culturas de sequeiro:** é um tipo de ocupação em que a agricultura é normalmente do tipo extensivo e de subsistência e onde se verifica algum consumo de água em regas suplementares. As práticas agrícolas aqui presentes não utilizam muitos agro-químicos, mas apresentam índices elevados de erosão, devido ao facto do solo se encontrar despido na época das chuvas.
  - **Florestas:** incluem florestas de resinosas e folhosas de forma indiferenciada, considerando que, do ponto de vista hidrológico se comportarão de forma semelhante. Trata-se de um tipo de uso do solo que potencia uma maior infiltração e boa retenção dos escoamentos. Além disso, não produzem normalmente poluição tóxica ou difusa, do ponto de vista dos recursos hídricos.
  - **Outros:** inclui todas as classes para as quais não se justifica efectuar comparações estatísticas entre as diferentes partes da bacia, ou cujo tipo de ocupação não se reveste de particular significado a nível hidrológico.
- Partindo desta classificação, ir-se-á de seguida procurar analisar como estes usos se distribuem no território da bacia hidrográfica do Vouga, procurando obter assim uma caracterização do comportamento hidráulico das diferentes unidades hidrológicas identificadas anteriormente (ver secção 3.5).

**Tabela 3.4- Distribuição das Classes de Uso do Solo pelas Unidades Hidrológicas Homogêneas em 1990 e 1995.**

Classes	UHH 1			UHH2			UHH3			UHH4						
	1990 (ha)	1995 (ha)	Var. (%)													
<b>Territórios Artificializados</b>	559	2333	1774	317	1637	5402	3806	233	455	3389	2934	645	237	1390	1153	487
<b>Regadios e Arrozais<sup>5</sup></b>	0	4602	4602	-	0	9922	9922	-	0	7095	7095	-	0	4413	4413	-
<b>Culturas de Sequeiro</b>	11062	5690	-5372	-49	7173	4991	-2262	-32	9841	2742	-7099	-72	11014	7165	-3850	-35
<b>Florestas</b>	19841	21298	1457	7	50713	49599	-1114	-2	41320	42637	1317	3	33154	28549	-4605	-13
<b>Outros</b>	13059	10628	-2431	-19	37894	27611	-10283	-27	24665	20435	-4230	-17	14854	17786	2932	20

Fonte: FBO et al.(dados adaptados), 1999

<sup>5</sup> O acréscimo de terreno pertence quase totalmente ao Regadio.

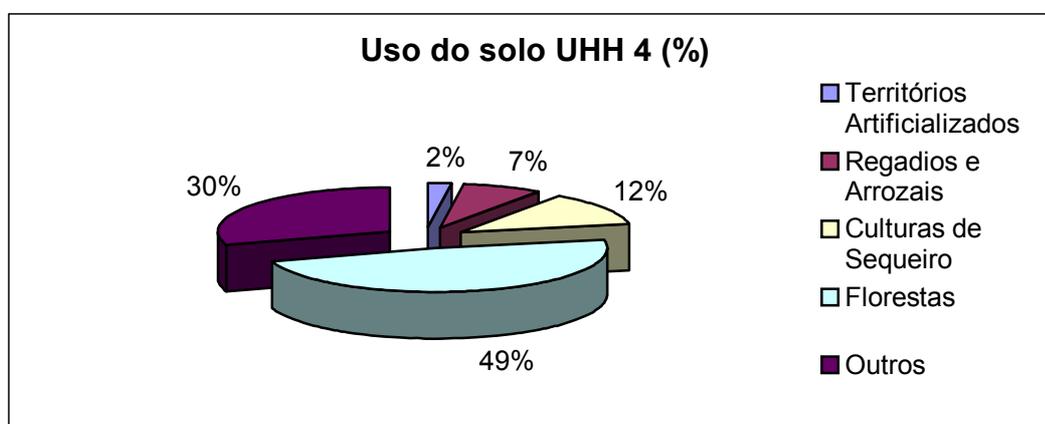
**Tabela 3.4- Distribuição das Classes de Uso do Solo pelas Unidades Hidrológicas Homogéneas (continuação)**

Classes	UHH 5				Bacia Vouga			
	1990 (ha)	1995 (ha)	Var. (ha)	Var. (%)	1990 (ha)	1995 (ha)	Var. (ha)	Var. (%)
<b>Territórios Artificializados</b>	4071	10152	6081	149	7046	22820	15774	224
<b>Regadios e Arrozais<sup>6</sup></b>	177	14557	14380	8124	177	40745	40568	22920
<b>Culturas de Sequeiro</b>	31257	8404	-22852	-73	70843	29084	-41759	-144
<b>Florestas</b>	29294	32419	3175	11	175331	178535	3204	2
<b>Outros</b>	21223	21344	121	0.6	116330	154468	38138	33

Fonte: FBO *et al.* (dados adaptados), 1999

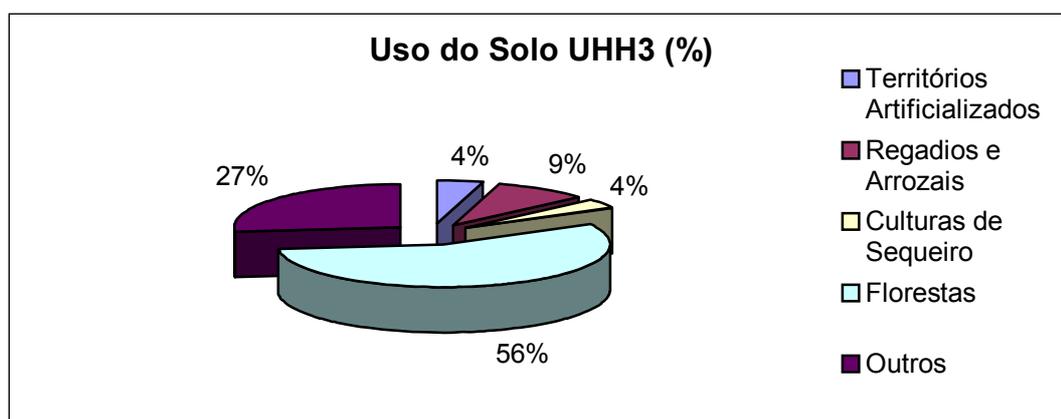
A análise da informação contida nesta tabela permite verificar que a ocupação do solo não é idêntica ao longo das várias unidades hidrológicas. Os gráficos seguintes, organizados por UHH, desde a nascente até à foz, traduzem esse resultado :

**Gráfico 3.3 – Uso do Solo UHH 4 Cabeceiras (1995)**



A UHH 4 representa cerca de 16% da área total da bacia, correspondendo à zona da nascente do Vouga. Nota-se a escassez de territórios artificializados, uma intensa ocupação florestal, e alguma representatividade das culturas de sequeiro e regadio. O rio nesta Unidade desenvolve-se ao longo de uma área plana, o que permite a coexistência destas ocupações. Em termos hidráulicos, considera-se que esta zona não apresenta fortes pressões.

**Gráfico 3.4 – Uso do Solo UHH 3 Médio Vouga Direito (1995)**

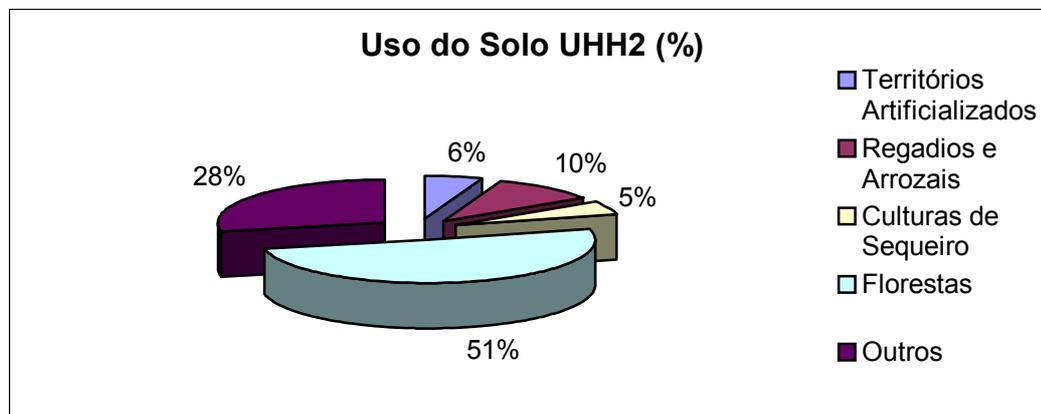


A UHH 3 (Médio Vouga Direito) abrange 21% do território da BHV, notando-se aqui algumas diferenças relativamente à ocupação do território, com um aumento das zonas de Regadio e Arrozais, bem como dos territórios artificializados. Nesta zona, o rio atravessa declives mais acentuados, pelo que existe uma drenagem superior ao do troço precedente. As culturas de regadio contribuem para a redução do escoamento à superfície, aumentando a infiltração. Quanto às culturas de sequeiro, apresentam uma redução, ocupando apenas 4% da superfície disponível. Predominantes nesta zona são os espaços florestais, o que

<sup>6</sup> O acréscimo de terreno pertence totalmente ao Regadio.

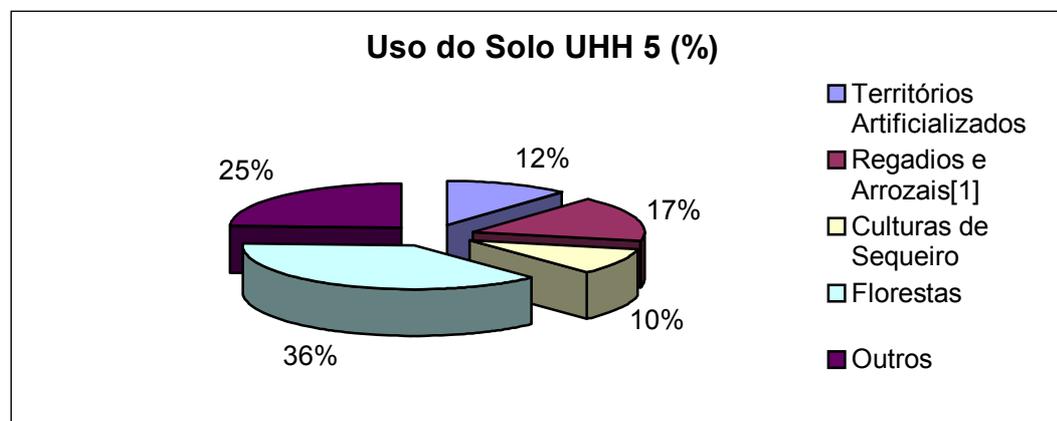
mostra uma tendência para uma transição das áreas agrícolas para a floresta.

**Gráfico 3.5 – Uso do Solo UHH 2 Médio Vouga Esquerdo (1995)**



Esta UHH ocupa 26% da área da Bacia, e também aqui é nítida a predominância da Floresta, embora se verifique alguma diminuição em relação à UHH precedente, em detrimento do aumento de outras ocupações. Existe uma maior artificialização do território (de 4% para 6%), e maior extensão das culturas de regadio e de sequeiro. Nesta zona o rio percorre novamente terrenos menos declivosos, confluindo aqui o rio Águeda, o seu principal afluente.

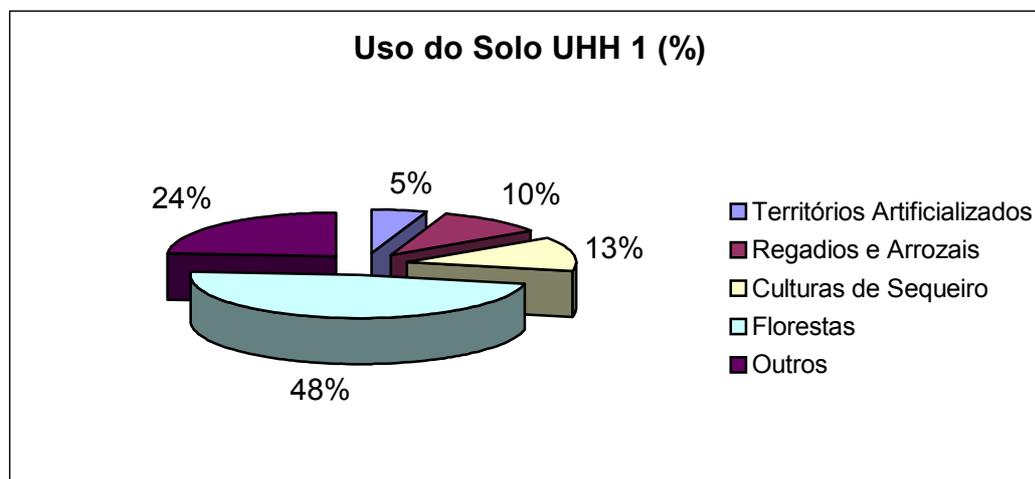
**Gráfico 3.6 - Uso do Solo UHH 5 Baixo Vouga Norte (1995)**



A UHH 5 ( Baixo Vouga Norte) ocupa 25% do território em estudo. Também nesta unidade a floresta predomina em relação às outras classes de ocupação, mas de uma forma muito menos notória. Aqui verifica-se um aumento acentuado dos territórios artificializados (de 6 para 12%) e ainda das culturas de sequeiro, regadios e arrozais. Estas, no conjunto, têm no Baixo Vouga Norte a sua maior representatividade em relação à bacia. Corresponde esta unidade à zona lagunar, densamente irrigada, desenvolvendo-se numa região de planície, com solos compostos essencialmente de areias e aluviões.

Com o aumento da artificialização do solo e das práticas agrícolas, a UHH 5 apresenta uma parte significativa do seu solo impermeabilizada e sujeita a poluição dos recursos hídricos, associada a elevados consumos de água. A intensidade da ocupação humana evidencia aqui, deste modo, uma forte pressão.

**Gráfico 3.7 – Uso do Solo UHH 1- Baixo Vouga Sul**



Finalmente, na UHH 1 (Baixo Vouga Sul), correspondente a 12% da área total, abrange o Braço Sul da Ria de Aveiro. Aqui predominam mais uma vez os espaços florestais, apresentando ainda as práticas agrícolas uma expressão considerável. Em relação à unidade anterior, verifica-se um decréscimo importante das zonas artificializadas.

### 3.9.3 Actividades Económicas

Em relação às actividades dominantes na bacia do Vouga, o primeiro destaque é o de uma tendência crescente da industrialização. Algumas actividades tradicionais, como a cultura do milho e do arroz, a criação de gado bovino, e a exploração da Ria e das marinhas através da indústria do sal e da pesca ainda mantêm, contudo, razoável importância.

Em 1991, dos cerca de 50% da população que declarou exercer uma actividade, 15.6 % dos habitantes tinham actividades no sector primário, 42.9 % no secundário e 36.9 % no terciário.

Em relação ao primeiro sector, Vagos, Oliveira do Bairro, Oliveira de Frades, S. Pedro do Sul e Vouzela apresentam os maiores valores, ao passo que é Aveiro o concelho onde a agricultura assume a menor expressão, com apenas 5.3% do total.

Os valores referentes à população activa no sector secundário mostram uma maior expressão nos concelhos de Águeda, Ovar e Albergaria-a-Velha, ao passo que o sector terciário acompanha o crescimento da urbanização, com maior relevância em Aveiro, Viseu, Ílhavo e Mealhada, caso em que não será alheio a proximidade do centro urbano de Coimbra (Arroteia, 1996).

Cruzando estes dados com os **usos da água** identificados no concelho (FBO *et al.*, 1999), tem-se que 67% das necessidades totais da bacia pertencem à agricultura, 21% ao abastecimento público, 11% à indústria e apenas 1% à pecuária. Dentro dos consumos industriais, destaca-se o peso das indústrias de pasta de papel e do papel, com 77% dos consumos de água dentro deste sector.

No que diz respeito ao crescimento do emprego, dados de 1996, do MQE demonstram que existiam na área da bacia 11931 empresas com 140094 trabalhadores (empresas que empregam trabalhadores por conta de outrem). Em relação aos dados de 1991 este número representa um acréscimo de 6% em trabalhadores e de mais 3500 empresas. Na globalidade, os 29 concelhos da bacia registaram um acréscimo de 16 559

activos (passando de 242 655 para 259 214). No entanto a população activa no sector I decresceu, registando-se o acréscimo nos dois outros sectores ( indústria e serviços)(FBO *et al.*, 1999).

Desagregando esta análise a nível concelhio, verifica-se que o aumento da percentagem de activos na década 81-91 foi maior na Mealhada, Vila Nova de Paiva, Feira e S. João da Madeira. Por sua vez, os concelhos onde se verificou um maior decréscimo de activos no período correspondente são Mortágua, Vouzela, Aguiar da Beira, Oliveira de Frades e Castro Daire, todos na NUTE III Dão Lafões, o que confirma o esvaziamento económico e populacional do interior em detrimento do litoral, conforme atrás abordado.

Conforme os dados anteriormente apresentados (Arroteia, 1996), é no Sector I que se regista um maior decréscimo da população activa. Em 1981, onze concelhos apresentavam-no como dominante, sendo que em 1991 passaram para nove.

Contudo, e de acordo com o Recenseamento Geral Agrícola de 1989, a bacia do Vouga ocupa perto de 2% da Superfície Agrícola Útil (SAU) do território do continente, albergando 9% do número total de explorações agrícolas. (Andersen *et al.*, 2001). Assim sendo, embora a percentagem de activos no sector primário tenha tendência a diminuir, verifica-se que ainda mantém razoável importância nesta unidade hidrográfica, o que aliás, se confirma pela percentagem elevada de uso dos recursos hídricos que evidencia ( ver acima).

Inversamente, o Sector II registou uma expansão generalizada, sendo que a sua dominância em termos de activos passou de onze para catorze concelhos, sendo o acréscimo generalizado na maioria dos destes.

Também o sector terciário registou um crescimento generalizado em toda a bacia, empregando cerca de 30% da população activa em todos os municípios e, no caso dos anteriormente referidos concelhos de Aveiro, Viseu, Ílhavo e Mealhada atingindo valores superiores. O concelho de Aveiro, tal como mencionado na análise demográfica, apresenta-se como um pólo regional de desenvolvimento, apresentando uma actividade

industrial cada vez mais diversificada, destacando-se a cerâmica, pasta de papel e o ramo automóvel. Também S. João da Madeira se tem vindo a afirmar como centro industrial nomeadamente nos sectores do vestuário e do calçado (FBO *et al.*, 1999).

**Tabela 3.5 – Evolução do N.º de Empresas na Bacia Hidrográfica do Vouga ( Indústria Transformadora)**

<b>Concelhos</b>	<b>1992</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
<b>Águeda</b>	450	572	633	603
<b>Albergaria- a- Velha</b>	94	135	159	158
<b>Anadia</b>	201	241	254	248
<b>Arouca</b>	75	113	135	138
<b>Aveiro</b>	256	364	434	432
<b>Estarreja</b>	87	108	124	115
<b>Feira</b>	1248	1697	2107	2000
<b>Ílhavo</b>	129	172	185	181
<b>Mealhada</b>	61	93	108	104
<b>Murtosa</b>	11	18	21	20
<b>Oliveira de Azeméis</b>	876	1105	1254	1171
<b>Oliveira do Bairro</b>	95	125	169	186
<b>Ovar</b>	234	321	377	356
<b>S. João da Madeira</b>	248	325	384	340
<b>Sever do Vouga</b>	42	64	89	83
<b>Vagos</b>	44	61	83	105
<b>Vale de Cambra</b>	110	152	184	181
<b>Total</b>	<b>4261</b>	<b>5657</b>	<b>6700</b>	<b>6421</b>

Fonte: AIDA, 2000

Conforme se pode verificar pela tabela 3.5, entre 1992 e 1998, verificou-se um crescimento generalizado do número de empresas no sector da indústria transformadora na área de influência da bacia. Esta tendência só

se inverte ligeiramente em 1998, onde se verifica uma diminuição em praticamente todos os concelhos, com a excepção de Arouca, Oliveira do Bairro e Vagos.

Em relação ao número total de empresas com sede em cada concelho, é a Feira que se destaca largamente (2000 empresas), seguida de Oliveira de Azeméis (1171) e Águeda (603). Estes números ajudam a explicar o extraordinário crescimento demográfico do concelho de Santa Maria da Feira, que entre na década de 91-2001 viu a sua população crescer 3.6 vezes.

Da análise das actividades a nível sectorial, ressalta que a actividade dominante na Bacia do Vouga é a indústria transformadora, a qual se concentra essencialmente num conjunto de concelhos na faixa litoral, a norte da bacia. Verifica-se ainda que dez concelhos da bacia concentram 78% da população activa, e 73% das empresas (INAG, 1999).

#### 3.9.4 Infra Estruturas

##### 3.9.4.1. Acessibilidades

Em termos de acessibilidades, a BHV encontra-se servida por diversas **vias rodoviárias**, nomeadamente em termos de acesso aos centros de Lisboa e Porto ( A1 Auto Estrada Porto/Lisboa, IC1 e IC2,A17,A29), na zona litoral. O interior é beneficiado pela existência do IP5/A25 Aveiro/Vilar Formoso, que potencia algumas zonas, como S. Pedro do Sul, Vouzela e Oliveira de Frades e do IP3 (município de Castro de Aire) (FBO *et al.*, 1999).

Algumas destas vias possuem projectos de beneficiação, alargamento de troços ou extensão do traçado (caso do IP5, transformado em auto estrada, ou do novos troços do IC2).

Para além dos benefício a nível do desenvolvimento das regiões atravessadas, estas alterações das vias em causa trarão certamente impactos não negligenciáveis na bacia, nomeadamente a nível de ordenamento do território, recursos hídricos, paisagem, fauna e flora.

Sendo a ocupação humana um dos factores potenciadores dos danos provocados pelas inundações, parece sensato alertar para que todos estes projectos, em especial no que concerne a todo o tipo de atravessamentos e modificações dos leitos naturais dos rios, sejam analisados criteriosamente, no sentido de evitar situações de risco para as populações e o ambiente. Este será um assunto a desenvolver no capítulo 6.

Em termos de **vias ferroviárias**, a bacia é atravessada pela Linha do Norte, pela Linha do Vale do Vouga e anda, pela Linha do Oeste.

#### 3.9.4.2. Outras

##### Porto de Aveiro

Localiza-se no concelho de Ílhavo, freguesia da Gafanha da Nazaré, dentro da Ria de Aveiro, sendo administrado pela APA – Administração do Porto de Aveiro, S.A, sociedade anónima de capitais públicos.

A APA possui jurisdição sobre as zonas portuárias, incluindo todos os canais e esteiros da Ria e suas margens, numa faixa de 50 metros de largura a partir da preia-mar máxima de marés vivas, e sobre a zona de litoral marítimo (Domínio Público Marítimo).

Dividido em quatro sectores principais (Construção e Reparação; Entrada da Barra; Pesca: costeira e largo e Comercial: terminal Norte, Sul e Químico), o porto de Aveiro constitui uma infra-estrutura importante na área dos transportes, estando grande parte dos produtos importados e exportados relacionados com a actividade industrial da região, especialmente com as indústrias químicas e de pasta de papel. Saliente-se, por exemplo, a existência de um *pipeline* dedicado ao transporte de VCM (monocloreto de vinilo) desde o seu ponto de recepção no terminal químico até à CIREs, em Estarreja.

Ao longo dos anos, a zona portuária foi palco de numerosas intervenções que contribuíram para alterar o meio hídrico e geológico na região, condicionando o seu desenvolvimento.

Na década de noventa do século passado verificou-se um grande número de operações de dragagem, de modo a manter a operacionalidade da navegação. Estas, contudo, facilitaram também a propagação da maré para o interior de todo o sistema lagunar, alterando a hidrodinâmica lagunar. O avanço da salinidade para o interior da Ria apresenta consequências positivas (maior renovação das águas da laguna) mas também negativas, como o aumento da salinidade dos solos, o que afectou de forma irreversível as áreas agrícolas locais. Este avanço das marés poderá ser contrariado através de um sistema de defesa e de drenagem apropriado, tal como previsto no Projecto de Desenvolvimento Agrícola do Vouga –Bloco do Baixo Vouga Lagunar, cujo estudo de impacte ambiental foi concluído em 2001 (Plano Distrital de Emergência de Aveiro, 1995; Andersen et al., 2001;).

**Tabela 3.6 – Principais Intervenções na zona portuária**

<b>Ano</b>	<b>Tipo de Intervenção</b>
1808	Abertura e fixação de uma embocadura artificial (o canal da barra havia fechado completamente em 1787) Restabelecimento das trocas de massas de água entre a laguna e o mar por acção das marés e dos caudais fluviais. Dique de enrocamento, localizado na Gafanha e atravessando a Ria até ao cordão dunar.
1859	Construção de um dique na margem norte para fixação do canal
1932-1936	Primeira fase das obras de melhoramento da barra. Fixação do canal de acesso ao porto, aumento da profundidade para a navegação. Construção de diques reguladores de corrente e de 470 m do molhe norte.
1935-1936	Dragagem do canal de acesso a Aveiro, entre as Duas Águas e o ancoradouro da Gafanha
1936-1937	Dragagem do canal de acesso a Aveiro, entre o ancoradouro da Gafanha e as Pirâmides
193?-193?	Dragagem do canal de acesso a Aveiro, entre o Forte da Barra e as Duas Águas
1951	Extensão do Molhe Norte (minorar o assoreamento)
195?-1960	Segunda fase das obras de melhoramento da barra. Prolongamento do molhe norte e construção de um novo molhe Sul.
1983-1987	Extensão, em 550 m, do quebra mar norte e obras de regularização dos canais. Melhoria das condições de acesso e segurança da navegação.
Após 1987	Realizadas diversas intervenções de dragagem com carácter pontual

Fonte : Andersen et al., 2001 (adaptado)

### 3.9.4.3. Infra-estruturas Hidráulicas e Saneamento

As principais obras hidráulicas e de saneamento básico existentes/ou a executar no domínio da bacia são o Aproveitamento Hidroagrícola do Baixo Vouga Lagunar, o Sistema Integrado de Despoluição da Ria de Aveiro, o Sistema de Abastecimento Multimunicipal do Carvoeiro e a futura Barragem de Ribeiradio.

#### Aproveitamento Hidroagrícola do Baixo Vouga Lagunar

Em relação a esta obra, foram já feitas referências na secção 3.9.4.2. O projecto tem como principal objectivo a defesa dos campos contra a inundação e a salinização do solo provocadas pelo avanço das marés. Além disso, nas áreas abrangidas que estão reservadas ao uso agrícola, pretende por em prática uma série de melhorias nas infra-estruturas de rega, drenagem e viárias, e a implementação de uma reestruturação fundiária.

Abrangendo uma área de 2934 ha, abarca os municípios de Albergaria-a-Velha, Aveiro e Estarreja e as freguesias de Angeja, Beduído, Cacia, Canelas, Fermelã e Salreu.

Os seus defensores apontam-no como a única forma de preservar o ecossistema lagunar e a agricultura existente de um desaparecimento inevitável, à medida que o avanço da água salgada alterar o equilíbrio biofísico existente. Algumas associações ambientalistas, contudo, contestam a intervenção, com base no receio que uma reestruturação da tradicional agricultura existente conduza a práticas agrícolas intensivas e geradoras de poluição e elevados consumos de água, para além de encararem com suspeita o sistema de diques e estruturas hidráulicas (ex.: comportas de maré) proposto para defender o Baixo Vouga Lagunar. No entanto, e segundo o próprio estudo de impacte ambiental do projecto, a opção de não intervenção levará ao “progressivo abandono dos campos e práticas agrícolas” e à decadência de alguns habitats e espécies, como os arrozais e o “Bocage” (Andersen *et al.*, 2001; IDAD, 2002).

## Sistema Integrado de Despoluição da Ria de Aveiro

Para enfrentar os problemas crescentes de poluição na Ria de Aveiro, nomeadamente através da descarga de efluentes líquidos industriais e urbanos, foi criada em 1989 a Associação dos Municípios da Ria (AMRIA). Esta era inicialmente constituída pelos municípios de Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Mira, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar e Vagos, tendo como objectivo o tratamento e destino final dos efluentes líquidos gerados na sua área de intervenção (Borrego & Gonçalves, 1996). A solução escolhida consistiu essencialmente num sistema interceptor (conjunto de condutas que transportam as águas residuais), duas estações de tratamento de águas residuais (ETAR Norte e Sul) e um exutor submarino com uma extensão de três quilómetros, localizado a Norte do Molhe Norte da Barra de Aveiro (conduta que lança no mar, longe da costa, as águas residuais tratadas). O destino final das águas tratadas será o Oceano Atlântico, garantindo-se, através da dimensão e localização do exutor, a qualidade da água nas praias, de acordo com a legislação em vigor.

Já em 1997, foi criado o Sistema Multimunicipal de Saneamento da Ria de Aveiro (SMSRA) e constituída a sociedade SIMRIA – Saneamento Integrado dos Municípios da Ria, S.A., com o objectivo da construção e exploração do sistema integrado (Andersen *et al.*, 2001).

## Sistema de Abastecimento Multimunicipal do Carvoeiro

Constituída em 1986, a Associação dos Municípios do Carvoeiro pretendeu dar resposta aos problemas de abastecimento de água na região, através da criação de um projecto de captação, tratamento e adução de água aos concelhos associados, englobando os municípios de Aveiro, Albergaria-a-Velha, Estarreja, Ílhavo e Murtosa.

A este conjunto de obras convencionou-se chamar Sistema de Abastecimento Multimunicipal do Carvoeiro, sendo o esquema de captação constituído por seis furos e 2 poços radiais executados no aluvião do Rio Vouga (lugar do Carvoeiro, concelho de Águeda). Existem também uma estação de tratamento, duas estações elevatórias, um reservatório principal de passagem e 15 reservatórios. No horizonte de projecto (2016) prevê-se que sirva cerca de 270 mil pessoas, com um consumo médio diário de mais de  $30 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  (Borrego & Gonçalves, 1996; Águas do Vouga, 2001). Actualmente a gestão e exploração do Sistema está a cargo das Águas do Vouga.

#### Barragem de Ribeiradio

O futuro aproveitamento hidráulico de Ribeiradio situar-se-á na zona intermédia do rio Vouga, a cerca de 86 km da nascente, próximo da povoação de Ribeiradio, no limite entre os concelhos de Sever do Vouga e Oliveira de Frades, dominando a parte superior da bacia, com área de 950  $\text{km}^2$ , equivalente a 40% da área da bacia hidrográfica do rio Vouga, se definida considerando Angeja como secção de referência.

O principal fim deste aproveitamento será a criação de uma albufeira para garantir o abastecimento de água para usos urbanos, industriais e agrícolas, no eixo Aveiro-Estarreja-Ovar. Prevê-se ainda que, para além destes fins, o aproveitamento produza energia, através de uma central hidroeléctrica. Depois de concluída, a barragem deverá satisfazer necessidades de consumo na ordem dos  $106 \text{ hm}^3$ , dos quais 44 destinados à rega e 62 a abastecimento urbano e industrial (IDAD, 2002).

## Outros Aproveitamentos Hidráulicos

Na bacia do Vouga existem actualmente 42 aproveitamentos hidráulicos de pequena e média dimensão, com finalidades diversas como a rega, o abastecimento público e a produção hidroeléctrica. Destes, o mais importante localiza-se em Castelo Burgães, junto à cidade de Vale de Cambra, Distrito de Aveiro, no rio Caima. É uma barragem de gravidade, destinada à rega, com 30 metros de altura, atingindo a cota 108 no Nível de Pleno Armazenamento, e com uma capacidade útil de 0.33 hm<sup>3</sup>. Do aproveitamento hidroagrícola faz ainda parte uma central mini-hídrica, que produz energia sobretudo no Inverno. Este regadio colectivo, propriedade do Estado, é actualmente gerido por uma associação de regantes (FBO *et al.*, 1999; IDAD, 2002).

## 4. Caracterização Hidrometeorológica

### 4.1. Ocupação Hidrometeorológica

#### 4.1.1 Rede Udométrica

**Tabela 4.1 - Postos Pluviométricos da Bacia do Vouga**

Designação		Tipo	Localização Geográfica			Per. Func.
Nome	Ref. <sup>a</sup>		Alt. (m)	Lat.	Long.	
Fiães	08F/01	Udog.	500	41 07	7 34	1931-84
Espargo (Feira)	08F/02	Udom.	123	40 55	8 34	1932-90
Covelo de Paivô	08I/02	Udom.	325	40 52	8 10	1943-84
S. Martinho das Moitas	08I/03	Udom.	645	40 53	8 02	1979-95
Castro Daire	08J/04	Udog.	475	40 53	7 56	1975-91
Vila Nova de Paiva	08K/02	Udog.	810	40 51	7 44	1943-91
Lapa	08L/06	Udom.	908	40 52	7 34	1979-95
Quinta da Fumadinha	08L/07	Udom.	806	40 50	7 35	1979-95
Albergar.	09G/01	Udom.	131	40 42	8 29	1930-95
Folharido	09G/02	Pluv.	225	40 45	8 24	1980-96

Designação		Tipo	Localização Geográfica			Per. Func.
Nome	Ref. <sup>a</sup>		Alt. (m)	Lat.	Long.	
Bouçã-Pesseg. do Vouga	09G/03	Udom.	150	40 41	8 21	1976-89
Campia	09H/01	Udom.	446	40 40	8 13	1930-95
Sejães - Oliveira de Frades	09H/02	Udom.	146	40 45	8 12	1979- 95
Manhouce	09H/03	Udom.	635	40 49	8 13	1979-89
Ribeiradio	09H704	Udom.	191	40 44	8 18	1976-95
Pindelo dos Milagres	09J/02	Udom.	450	40 48	7 57	1932-95
Calde	09J/03	Udom.	520	40 47	7 55	1979-95
Queiriga	09K/02	Udom.	684	40 48	7 44	1980-95
Aguiar da Beira	09L/01	Udom.	779	40 49	7 32	1930-95
Gafanha	10E/03	Udom.	8	40 37	8 42	1930-95
Oliveira do Bairro	10G/01	Udom.	60	40 31	8 30	1979-96
Cantanhede	11F/01	Udom.	58	40 21	8 36	1979-95
Estrada	11F/02	Udom.	41	40 28	8 38	1979-95
Roge	8580	Pluv.	420	40 50	8 21	1933-61

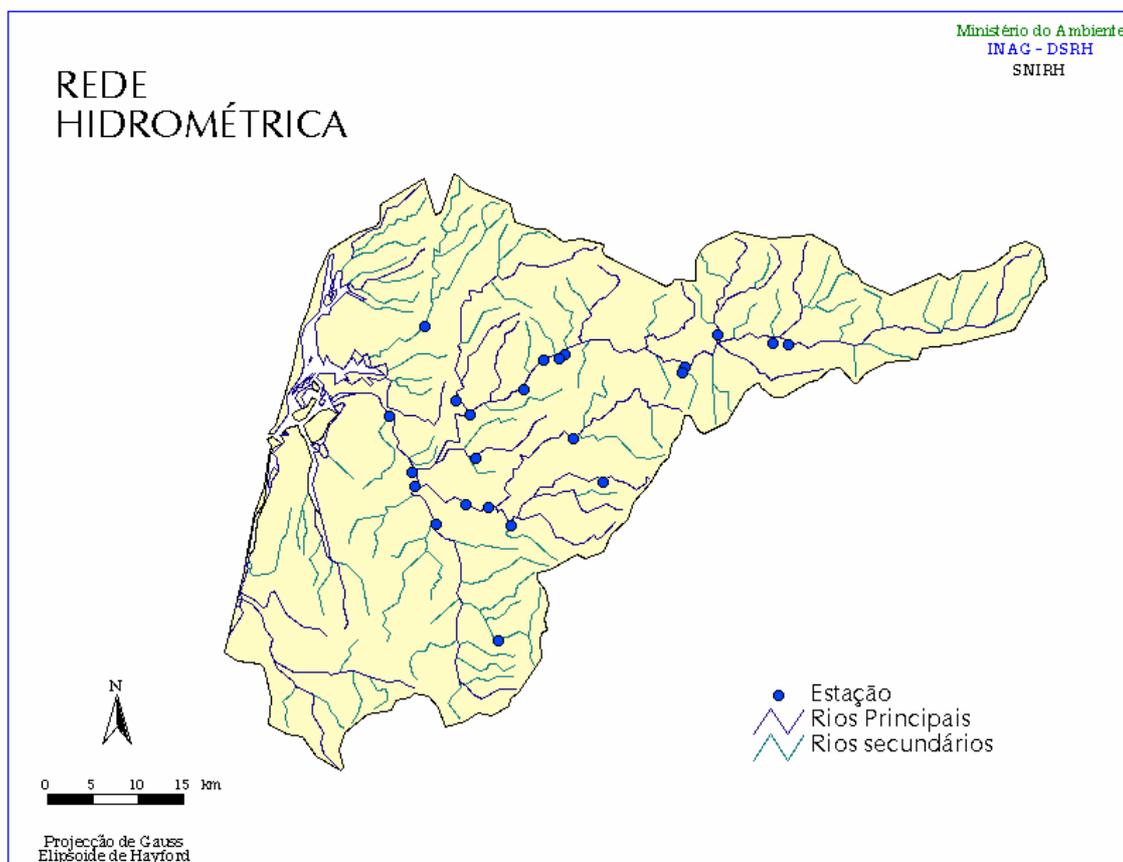
Fonte: Carvalho *et al.* (DRARN Centro), 1997 (revista e actualizada).

**Tabela 4.2 – Estações Climatológicas da Bacia do Vouga**

Designação		Entid.	Localização Geográfica			Per. Func.
Nome	Ref. <sup>a</sup>		Alt. (m)	Latit.	Long.	
Castelo Burgães	08G/01	DRA Centro	304	40 51	8 22	1937-95
S. Pedro do Sul	09I/01	DRA Centro	191	40 45	8 04	1931-95
S. Jacinto	10E/02	IM	8	40 39	8 44	1953-84
Aveiro	10F/01	IM	5	40 38	8 40	1980-96
Caramulo	10H/01	IM	810	40 34	8 10	1936-90
Viseu	10J/01	IM	494	40 39	7 59	1924-90
Dunas de Mira	11E/01	IM	14	40 27	8 45	1933-90
Anadia	11G/01	IM	45	40 26	8 26	1939-93
Sever do Vouga	626	IM	275	40 44	8 22	1960-65
Aveiro/1	628	IM	5	40 39	8 45	1940-47
Aveiro/Barra	629	IM	3	40 39	8 44	1931-55
Buçaco	632	IM	381	40 23	8 22	1936-42

Fonte: Carvalho *et al.* (DRARN Centro), 1997 (revista e actualizada).

#### 4.1.2 Rede Hidrométrica



**Figura 4.1 - Rede hidrométrica da bacia do Vouga**

A figura 4.1 representa a **rede hidrométrica da bacia do Vouga**, constituída actualmente por treze estações hidrométricas distribuídas pelos diversos rios e ainda pelas barragens de Ribafeita, Drizes, Padrastos e Burgães. Esta cobre um área de bacia de 2348 km<sup>2</sup>, correspondendo a uma densidade de rede de cerca de 138 km<sup>2</sup>/estação hidrométrica. Contudo, esta densidade é pouco ilustrativa da realidade, sendo que a maior parte das séries de dados tem uma dimensão pequena, existindo muitas lacunas nos registos Na tabela seguinte encontram-se listados os postos existentes e o respectivo equipamento.

**Tabela 4.3 – Rede Hidrométrica da Bacia do Vouga**

Rio	Estações		
	Código	Nome	Observações
Antuã	09F/01	Ponte da Minhoteira	a)
Vouga	09F/03	Angeja	a); e)
Caima	09G/01	Ponte de Vale Maior	a); b)
Vouga	09H/03	Ribeirada	a), d)
Açude do Alfusqueiro	09H/05	Alfusqueiro	a); b); e);
Vouga	09I/02	Ponte de Vouzela	a), b)
Sul	09I/03	Ponte de Pouves	a), b)
Vouga	09K/01	Vouguinha	a); b); e)
Águeda	10F/03	Ponte de Requeixo	a), c);e)
Águeda	10G/02	Ponte de Águeda	a), c), f)
Alfusqueiro	10G/03	Ribeiro	a), b), f)
Águeda	10G/05	Ponte da Redonda	a), b), f)
Serra	11G/01	Vila Nova de Monsarros	a), b); e)

a) - escala hidrométrica

b) - Limnígrafo de bóia e contrapeso de registo semanal

c) - Limnígrafo de bóia e contrapeso de registo trimestral

d) - Limnígrafo de pressão de registo trimestral ou semestral

e) - equipamento de transmissão de dados via telefone

f) - equipamento automático de consulta via computador

Fontes: Carvalho *et al.* (DRARN Centro), 1997; INAG (SNIRH), 2005.

## 4.2. Precipitação

A caracterização climática genérica da Bacia Hidrográfica do Vouga foi já apresentada no capítulo 3.8. Nesta secção, pretende-se analisar com algum pormenor os dados disponíveis relativamente à precipitação, uma vez que são necessários ao cálculo do balanço hídrico, e posteriormente à análise da relação entre a precipitação e o escoamento superficial, os quais são determinantes para o estudo do regime de cheias na bacia.

As séries temporais seleccionadas correspondem a um período de 56 anos hidrológicos, abrangendo os anos de 1945/46 a 2000/2001, sendo os registos fornecidos pela ex.- Direcção Regional do Ambiente do Centro e pelo Instituto de Meteorologia, e obtidos numa estação meteorológica e em postos udométricos.

No gráfico seguinte, encontra-se a variação da precipitação anual em quatro locais, seleccionados em função da existência de séries cronológicas de dados mais longas e completas e da sua distribuição geográfica, que se procurou representativa das características de diferentes zonas da bacia. Além disso, todos se localizam na proximidade de linhas de água pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Águeda, o que contribuirá para o trabalho a desenvolver na segunda secção deste trabalho, com a aplicação ao caso concreto do regime de cheias nessa bacia. Na tabela 4.4. encontra-se uma caracterização das estações seleccionadas.

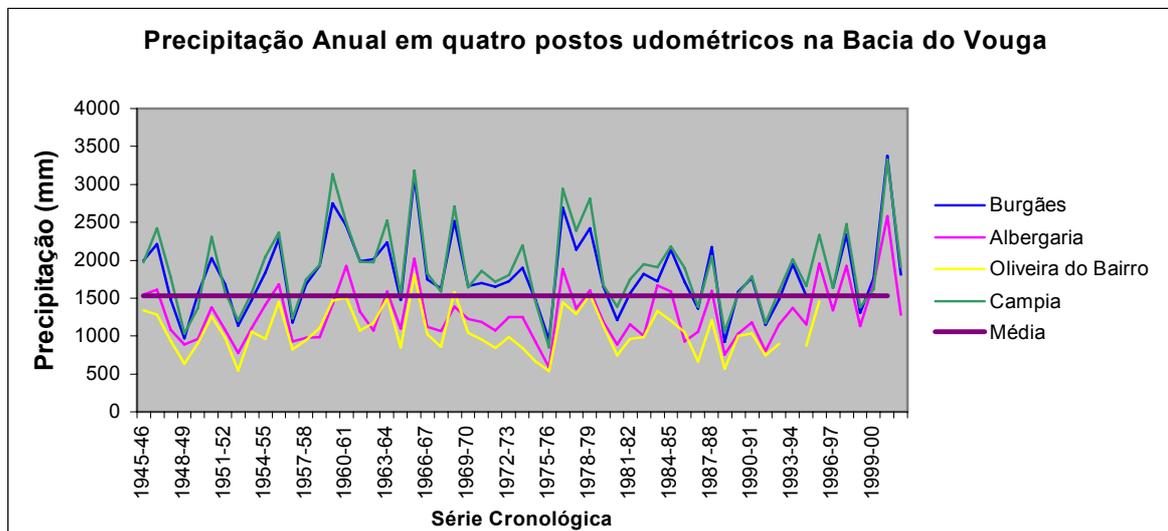
Da análise do gráfico verifica-se que, para os postos de Castelo Burgães e Campia, os anos mais chuvosos foram 1965-66 e 2000-2001, com precipitação anual superior a 3000 mm. Note-se que a distribuição da precipitação é semelhante nos quatro locais. A precipitação média é 1500 mm, o que se aproxima do valor da precipitação média ponderada na totalidade da bacia, obtido na literatura, e apresentado no capítulo 3.8: 1387 mm.

**Tabela 4.4– Caracterização das Estações e Postos Udométricos**

<b>Estação Posto</b>	<b>Campia</b>	<b>Burgães</b>	<b>Albergaria-a- Velha</b>	<b>Oliveira do Bairro</b>
<b>Referência</b>	09H/01	08G/01	09G/01	10G/01
<b>Lugar</b>	Campia	Relvas	Albergaria-a- Velha	Oliveira do Bairro
<b>Freguesia</b>	Campia	Macieira de Cambra	Albergaria-a- Velha	Oliveira do Bairro
<b>Concelho</b>	Vouzela	Vale de Cambra	Albergaria-a- Velha	Oliveira do Bairro
<b>Linha de água</b>	Rio Alfusqueiro	Rio Caima	Rio Caima	Rio Cértima
<b>Altitude</b>	446 m	304 m	131 m	60 m
<b>Coordenadas Geográficas</b>	40° 40' 30" N 8° 12' 55" W	40° 51' 14" N 8° 22' 40" W	40° 41' 59" N 8° 28' 51" W	40° 31' 15" N 8° 29' 50" W
<b>Ano de entrada funcionamento</b>	1931/32	1937/38	1930/31	1930/31
<b>Posto mais próximo</b>	S. Pedro do Sul	Ribeiradio	Bouçã- Pessegueiro do Vouga	Estrada

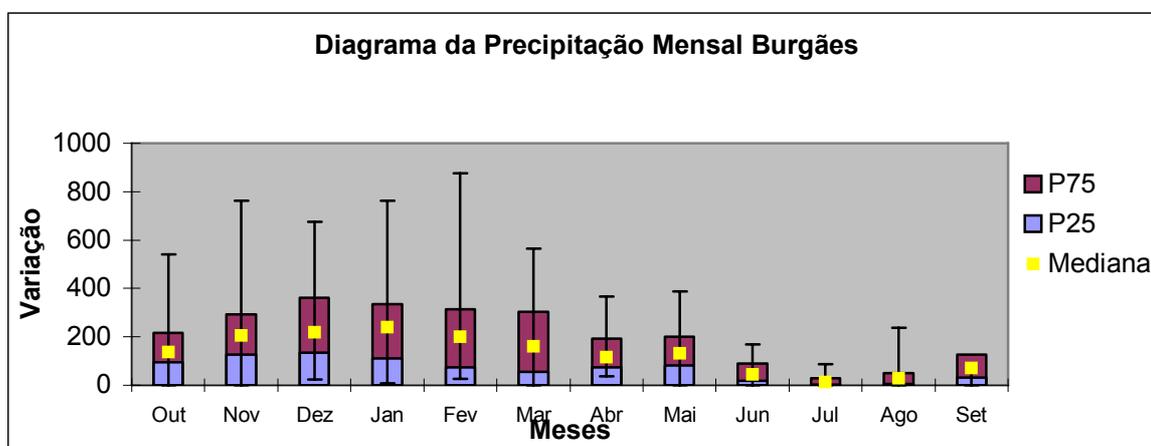
Fonte: Carvalho *et al.* (DRARN Centro), 1997 (revista e actualizada).

**Gráfico 4.1- Precipitação Anual na Bacia do Vouga- Série Cronológica**

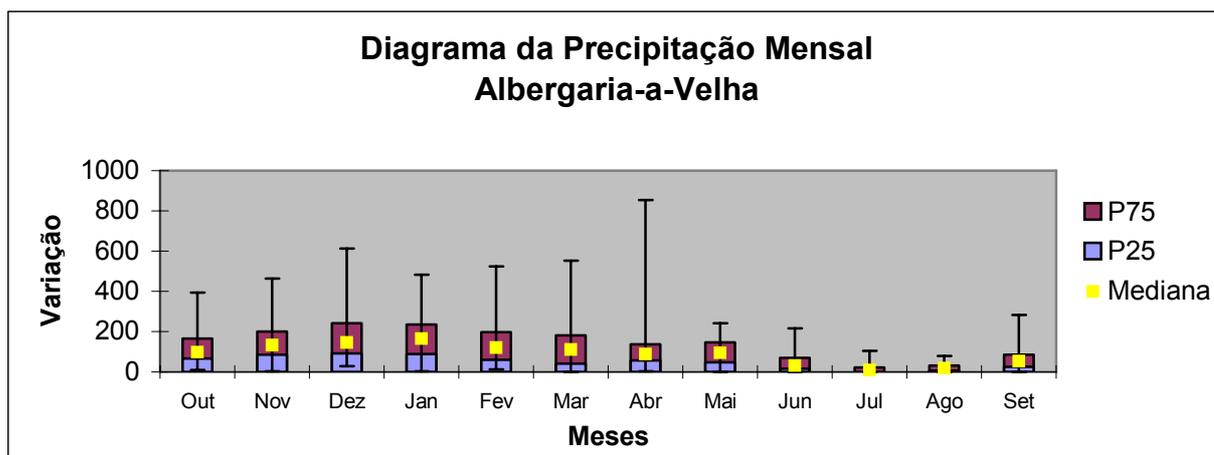


Relativamente à distribuição sazonal da precipitação, verifica-se uma concentração nos meses de Outubro a Maio, encontrando-se neste semestre cerca de 75% da precipitação, como se pode verificar a partir dos diagramas seguintes, onde se encontram representados a mediana, os valores mínimos e máximos e os percentis 25 e 75 em cinco locais distintos da bacia hidrográfica.

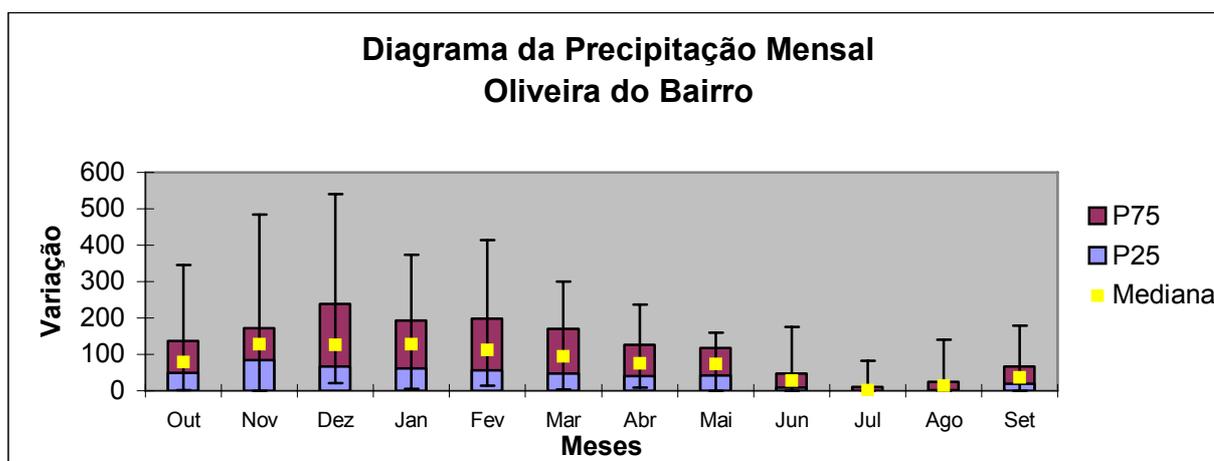
**Gráfico 4.2- Diagrama da Precipitação Mensal na estação meteorológica de Burgães**



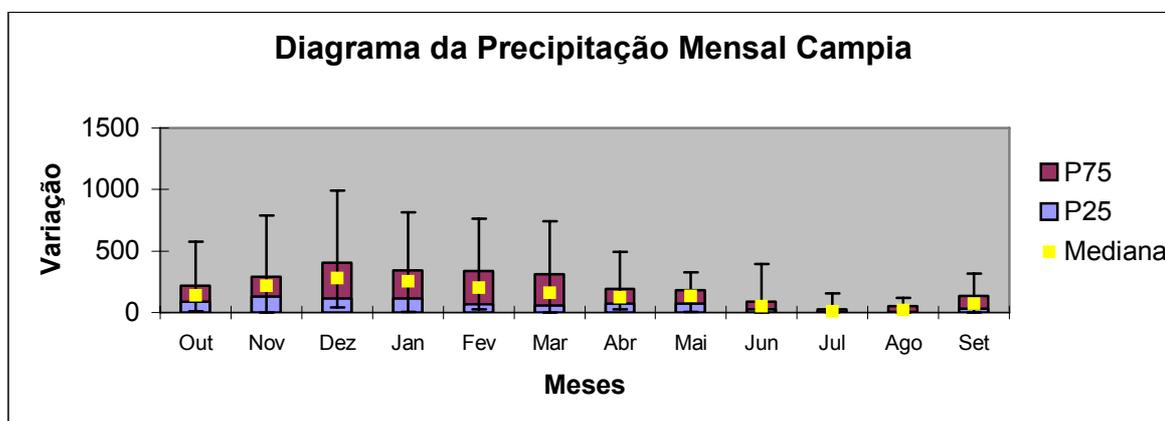
**Gráfico 4.3- Diagrama da Precipitação Mensal no posto udométrico de Albergaria-a-Velha**



**Gráfico 4.4- Diagrama da Precipitação Mensal no posto udométrico de Oliveira do Bairro**



**Gráfico 4.5- Diagrama da Precipitação Mensal no posto udométrico de Campia**



### **4.3. Balanço Hídrico**

O cálculo do balanço hídrico do solo permite definir os períodos do ano em que existe excedente hídrico (i.e., aumento da escorrência superficial e do escoamento fluvial) e aqueles em que existe défice hídrico, com a consequente diminuição da escorrência superficial e diminuição do teor de humidade do solo. Os períodos de excedente poderão originar situações de cheia, pelo que os resultados obtidos são valiosos para os estudos deste tipo fenómenos hidrológicos extremos.

Devido ao facto dos locais apresentados anteriormente serem apenas postos udométricos, portanto sem medição de temperatura, houve a necessidade, para proceder ao cálculo do balanço hídrico, de seleccionar estações meteorológicas<sup>7</sup>. Foram escolhidas Anadia e o Caramulo, como representando condições geográficas distintas na bacia do Vouga, considerando os valores obtidos para estas duas estações como uma aproximação da situação real em toda a bacia. As séries apresentadas abrangem, no caso de Anadia, os anos

<sup>7</sup> À excepção de Castelo Burgães, mas a série de dados de temperatura média mensal para esta estação termina em 1992 e não apresenta leituras entre Setembro de 1981 e Março de 1983.

hidrológicos de 1945/46 a 2000/2001 (56 anos) e do Caramulo 1945/46 a 1992/93 (48 anos), uma vez que, nesta estação, os registos posteriores a 1993 apresentavam muitas falhas de leitura.

Para cada uma delas determinou-se, em função das séries cronológicas de precipitação, o ano húmido, o ano seco e o ano médio, na tentativa de representar as condições extremas (“cheia” e “seca”) e as condições “médias”. Utilizou-se o método de Thornthwaite para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) (Custódio, 1983;Silva,1999).

O balanço inicia-se no primeiro mês deficitário após o período húmido, ou seja aquele em que a evapotranspiração potencial é superior à precipitação. Considerou-se 100 mm a altura de água utilizável pelas plantas, sendo o cálculo dos restantes parâmetros efectuado da forma seguinte:

- 1) Calcula-se a *água disponível* somando a reserva que fica no solo no mês anterior com a precipitação desse mês (P)
- 2) Essa água será “gasta” em primeiro lugar na *evapotranspiração*. Se existir água suficiente, a *evapotranspiração real*  $ETR = ETP$ . Caso contrário,  $ETR =$  água disponível
- 3) Se ainda existir água (caso em que água disponível  $> ETP$ ), esta gasta-se na *humidade do solo* ( $r$ ), mas só até ao limite da altura de água utilizável pelas plantas (100 mm). Caso sobre água, esta é considerada como *excedente*.
- 4) A *variação da reserva hídrica no solo* ( $\Delta R$ ) calcula-se subtraindo à água que fica no solo em cada mês, a água que o solo tinha no mês anterior.
- 5) Existe *défice* nos meses em que  $ETR < ETP$ , sendo igual à diferença entre estes dois valores:  $ETP - ETR$ .

Existem assim dois períodos no regime hídrico: um húmido, em que a evapotranspiração real é igual à evapotranspiração potencial, e esta é inferior à precipitação, originado assim um **excedente**; e outro seco, no qual a evapotranspiração real é inferior à potencial, sendo esta superior à precipitação, e originado um **défice hídrico**.

Na estação de Anadia o período de excedente hídrico inicia-se em Outubro e prolonga-se até Março- Abril, nos anos mais húmidos. Nos anos secos, dura apenas até Janeiro-Fevereiro. Por outro lado, o período de défice hídrico estende-se de Maio-Junho até Setembro. Nos meses de Abril e Maio há alguma instabilidade, ocorrendo por vezes precipitação intensa quando já começa a surgir o período seco.

Na estação do Caramulo, por sua vez, o período de excedente hídrico inicia-se em Outubro e prolonga-se até Abril. O período seco é mais curto do que em Anadia, em regra de Junho a Agosto, iniciando-se nos anos mais húmidos apenas em Julho.

Os valores médios de precipitação da Estação de Anadia são substancialmente inferiores aos registados no Caramulo (1052 mm contra 2265 mm) e as temperaturas médias anuais mais altas (12.8 e 14.4, respectivamente). Os valores da ETP são bastante semelhantes, sendo ligeiramente inferiores no Caramulo, ao passo que a evapotranspiração real é superior à registada em Anadia. No Caramulo, o défice hídrico é reduzido, e o excedente muito elevado.

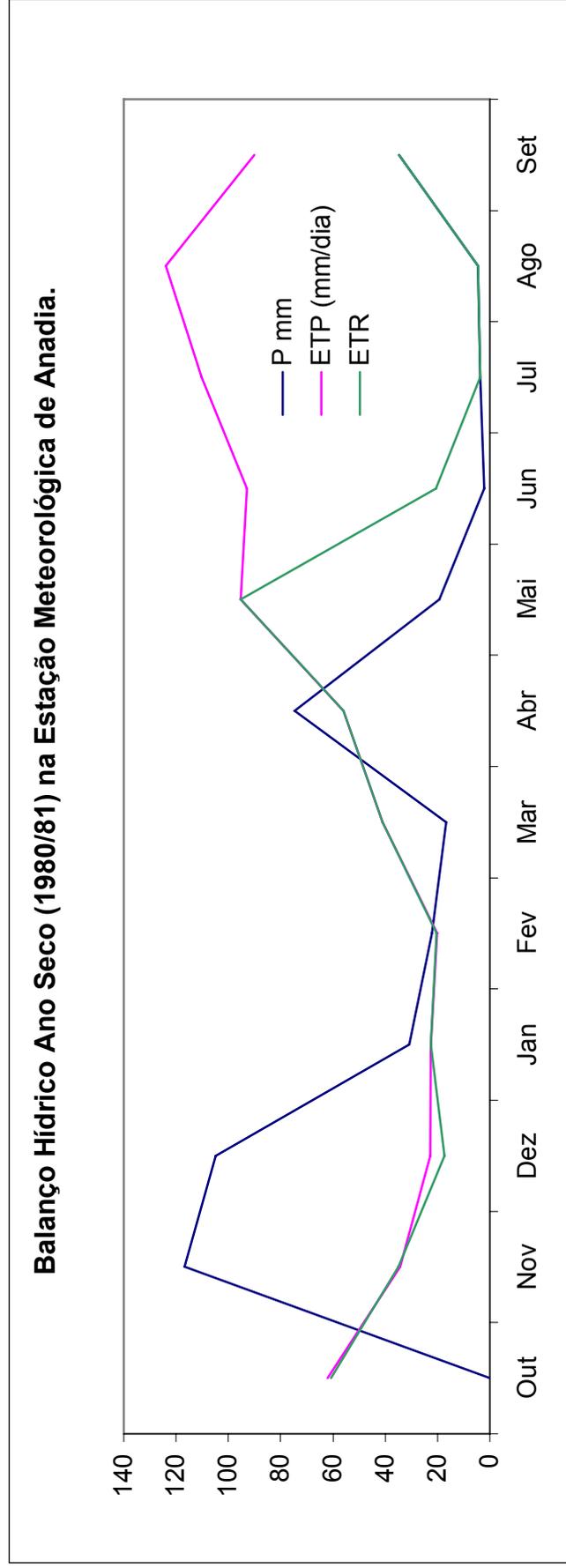
Estes valores obtidos na Estação do Caramulo apontam para a existência de um escoamento superficial mais elevado na sub-bacia do Águeda, o que se traduzirá também num maior escoamento fluvial.



**Quadro 4.1. - Balanço Hídrico do Ano Seco – 1952/53, para a estação meteorológica de Anadia. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**

Ano 1952/53	Balanço Hídrico Ano Seco Anadia												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
P (mm)	83,50	116,80	104,80	30,80	22,10	16,80	74,70	19,30	2,10	3,70	4,50	34,70	513,8
ETP (mm/d)	62,09	34,35	22,86	22,68	20,28	40,97	55,97	95,23	92,95	110,30	123,90	90,00	771,6
r	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	75,80	94,50	18,57	0,00	0,00	0,00	0,00	
$\Delta R$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-24,20	18,73	-75,93	-18,57	0,00	0,00	0,00	
ETR (mm/d)	60,67	34,85	17,47	22,68	20,30	40,97	55,97	95,23	20,70	3,70	4,50	34,70	411,74
Exced.	21,41	81,95	87,33	8,12	1,82								200,6
Défice									72,25	106,60	119,40	55,30	353,55

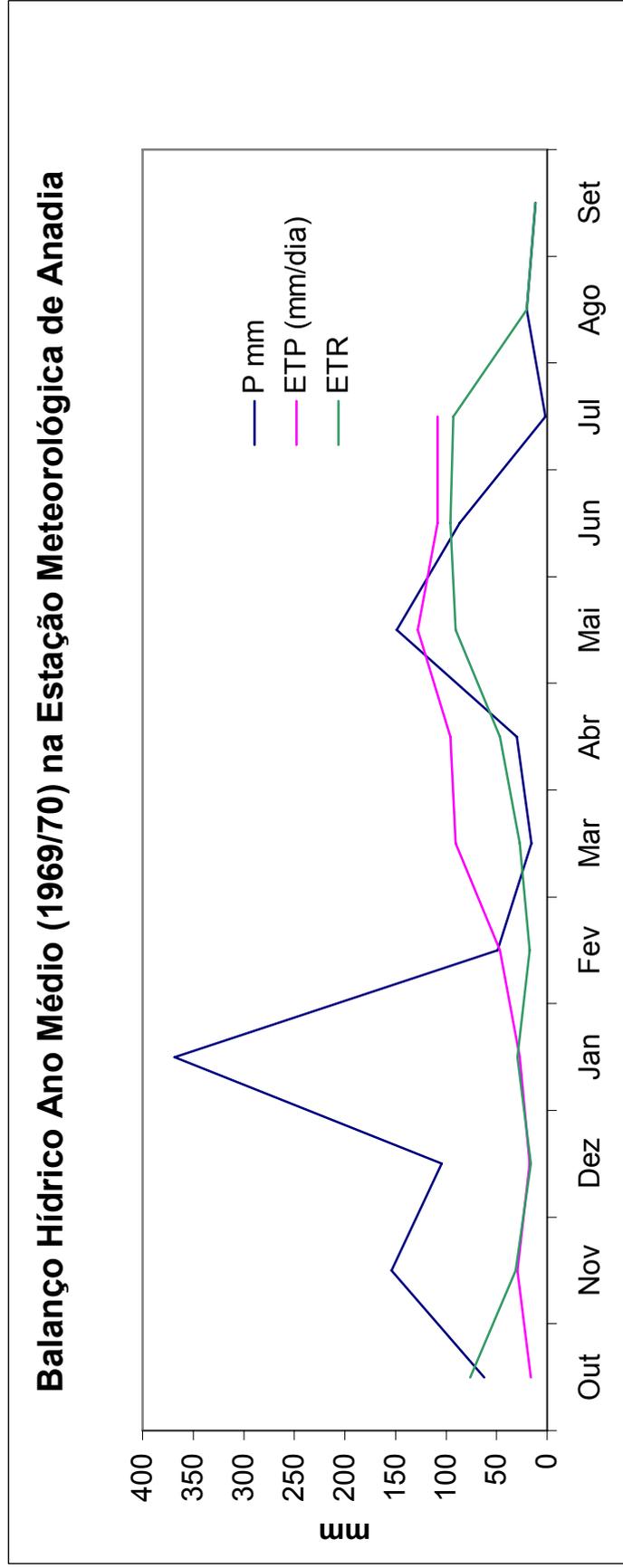
**Gráfico 4.6 – Representação gráfica da evolução do balanço hídrico no solo, no ano seco (1952/53), para a estação meteorológica de Anadia. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**



**Quadro 4.2. - Balanço Hídrico do Ano Médio – 1969/70, para a estação meteorológica de Anadia. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**

Ano1969/70	Balanço Hídrico Ano Médio Anadia												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
<b>P mm</b>	62,2	154,0	104,4	368,2	49,2	15,7	30,0	148,7	86,6	2,0	20,0	11,8	1052,8
<b>ETP (mm/dia)</b>	76,12	31,11	16,22	29,64	17,29	26,98	46,64	90,61	95,96	128	108,2	108,4	775,2
<b>r</b>	86,08	100	100	100	100	88,72	72,08	100	90,64	0	0	0	0
<b>DR</b>	-13,90	13,92	0	0	0	-11,3	-16,6	27,92	-9,36	-90,6	0	0	0
<b>ETR(mm/d)</b>	76,12	31,11	16,22	29,64	17,29	26,98	46,64	90,61	95,96	92,64	20	11,8	555
<b>Excedente</b>		109	88,2	338,6	31,9			30,2					597,9
<b>Défice</b>										35,36	88,2	96,6	220,2

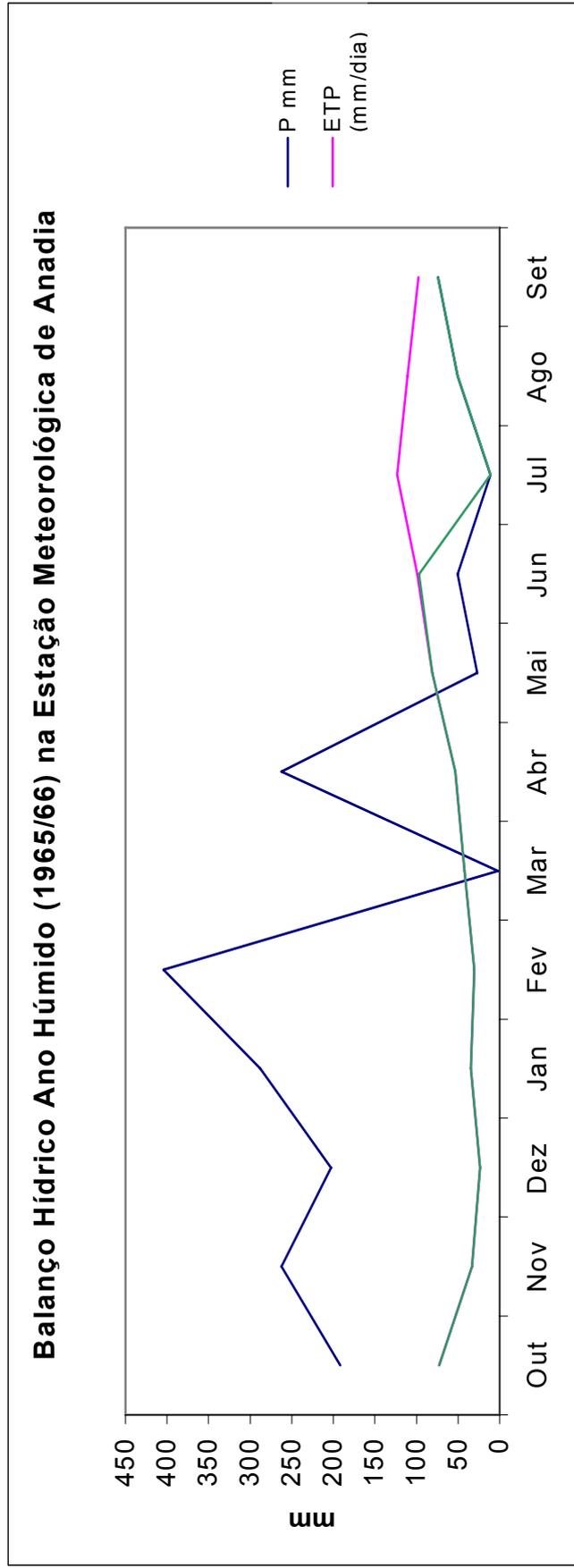
**Gráfico 4.7 – Representação gráfica da evolução do balanço hídrico no solo, no ano médio(1969/70), para a estação meteorológica de Anadia. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**



**Quadro 4.3. - Balanço Hídrico do Ano Húmido – 1965/66, para a estação meteorológica de Anadia. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**

Ano 1965/66	Balanço Hídrico Ano Húmido												
	Anadia												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
<b>P mm</b>	191,90	262,70	203,00	288,00	404,00	2,40	262,50	27,20	50,70	11,30	50,30	73,90	1827,90
<b>ETP (mm/d)</b>	72,54	33,11	23,21	34,28	30,65	42,57	53,30	80,97	98,97	123,30	111,10	97,81	801,81
<b>r</b>	100	100	100	100	100	59,83	100	46,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>DR</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-40,20	40,17	-53,80	-46,23	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>ETR (mm/d)</b>	72,54	33,11	23,21	34,28	30,65	42,57	53,30	80,97	96,93	11,30	50,30	73,90	603,06
<b>Excedente</b>	119,36	229,59	179,79	253,72	373,35		169,00						1324,81
<b>Défice</b>									2,04	112,00	60,80	23,91	198,75

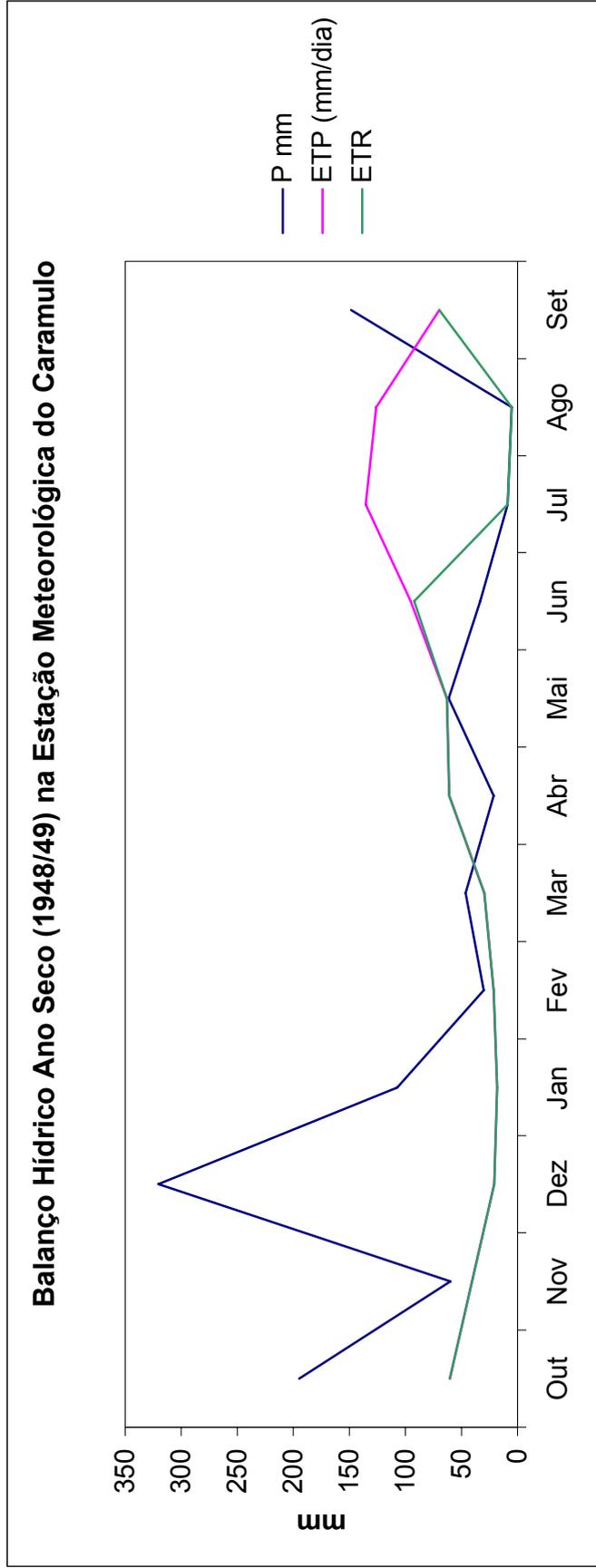
**Gráfico 4.8 – Representação gráfica da evolução do balanço hídrico no solo, no ano húmido (1965/66), para a estação meteorológica de Anadia. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**



**Quadro 4.4. - Balanço Hídrico do Ano Seco – 1948/49, para a estação meteorológica de Caramulo. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**

Ano1948/49	Balanço Hídrico Ano Seco												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
<b>P (mm)</b>	195,0	60,1	320,4	107,5	30,3	46,5	21,3	61,3	33,3	9,1	5,3	148,4	1038,5
<b>ETP (mm/dia)</b>	60,57	40,52	20,68	18,02	21,42	29,76	61,00	62,90	95,31	135,20	125,90	69,69	740,97
<b>r</b>	100	100	100	100	100	100	60,3	58,7	0	0	0	78,71	
<b>DR</b>	0	0	0	0,00	0	0	-39,7	-1,6	-58,7	0	0	78,71	
<b>ETR(mm/dia)</b>	60,57	40,52	20,68	18,02	21,42	29,76	61	62,9	92	9,1	5,3	69,69	490,96
<b>Excedente</b>	134,4	19,6	299,7	89,5	8,9	16,7							568,8
<b>Défice</b>									3,3	126,10	120,60		250,01

**Gráfico 4.9 – Representação gráfica da evolução do balanço hídrico no solo, no ano seco (1948/49), para a estação meteorológica de Caramulo. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**

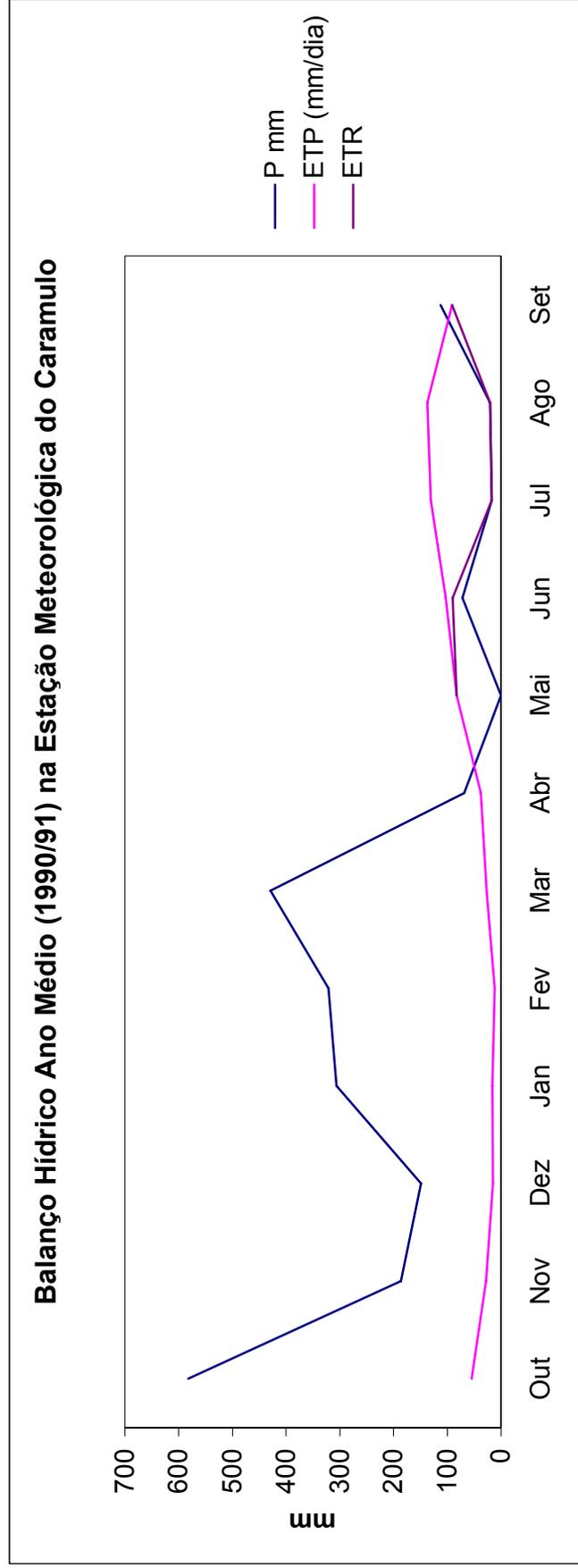


**Quadro 4.5. - Balanço Hídrico do Ano Médio – 1990/91, para a estação meteorológica de Caramulo. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm**

Ano1990/91	Balanço Hídrico Ano Médio												
	Caramulo												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
P mm	582,6	186,5	148,8	306,5	321,3	429,5	69,0	0,0	71,3	17,5	20,3	112,4	2265,7
ETP (mm/dia)	54,36	27,89	15,49	16,01	12,02	26,31	37,4	81,89	102,5	131	136,6	91,31	732,8
r	100	100	100	100	100	100	100	18,11	0	0	0	0	21,09
DR								-81,9	-18,1	0	0	0	21,09
ETR(mm/d)								81,89	89,41	17,5	20,3	91,31	300,4
Excedente													0,0
Défice									13,09	113,5	116,3		242,9



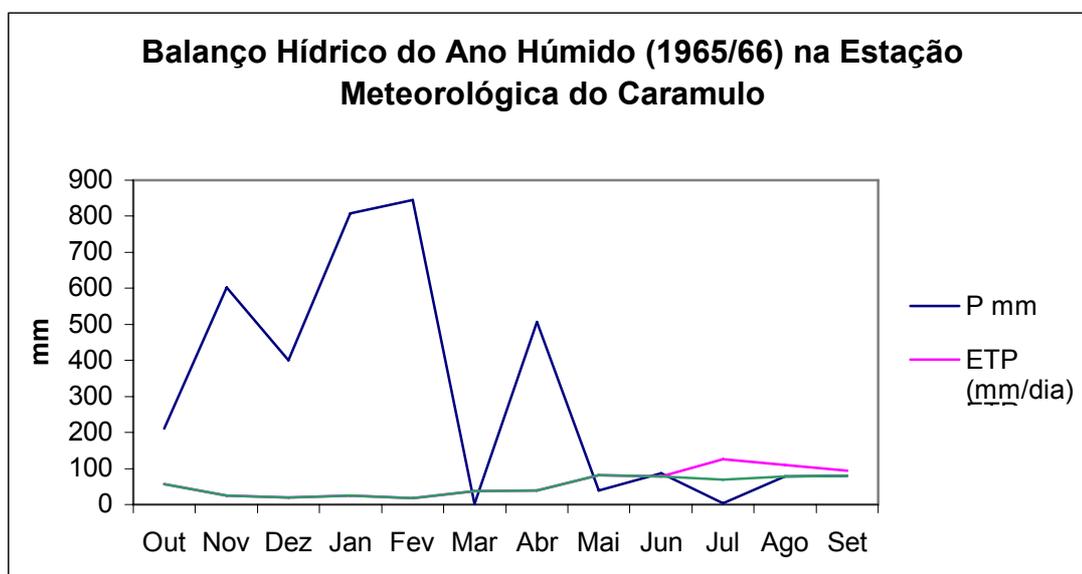
**Gráfico 4.10 – Representação gráfica da evolução do balanço hídrico no solo, no ano médio (1990/91), para a estação meteorológica de Caramulo. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**



**Quadro 4.6. - Balanço Hídrico do Ano Húmido – 1965/66, para a estação meteorológica de Caramulo. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm**

Ano1965/66	Balanço Hídrico Ano Húmido												
	Caramulo												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
<b>P mm</b>	211,4	602,7400,0		808,6	845,5	2,0	505,9	38,5	86,7	2,9	77,1	79,1	3660,4
<b>ETP (mm/dia)</b>	56,15	24,6319,7		25,51	18,22	37,83	39,4	80,69	78,77	125,8	109,7	93,47	709,9
<b>r</b>	100,00	100,00100,00		100,00	100,00	64,17	100,00	57,81	65,74	0,00	0,00	0,00	
<b>DR</b>	0,00	0,0000,00		0,00	0,00	-35,83	35,83	-42,19	7,93	-65,74	0,00	0,00	
<b>ETR (mm/dia)</b>	56,15	24,6319,7		25,51	18,22	37,83	39,40	80,69	78,77	68,64	77,10	79,10	605,7
<b>Excedente</b>	155,25	578,07380,30		783,09	827,28		430,67						3154,66
<b>Défice</b>										57,16	32,60	14,37	104,13

**Gráfico 4.11 – Representação gráfica da evolução do balanço hídrico no solo, no ano húmido (1965/66), para a estação meteorológica de Caramulo. Capacidade de água utilizável pelas plantas: 100 mm.**



#### **4.4. Regime Hidrológico**

Conforme ilustrado na fig.4.1, a Bacia Hidrográfica do Vouga possui treze estações hidrométricas actualmente activas. Algumas destas estações possuem equipamento de telemetria, o que permite a monitorização em tempo real das cotas e caudais e o registo, em base de dados, das séries de valores obtidos. Contudo, as séries apresentam muitas falhas de leitura e não sendo suficientemente longas ou com a qualidade suficiente para um estudo aprofundado do regime hidrológico em toda a bacia hidrográfica. Deste modo, optou-se por seleccionar quatro estações, com registos temporais mais longos, e que possam servir como uma aproximação aceitável da realidade da bacia: a Ponte de Vale Maior, no rio Caima, a Ponte da Redonda, e a Ponte de Águeda<sup>8</sup>, no Rio Águeda e a Ponte do Ribeiro, no Rio Alfusqueiro.

<sup>8</sup> Apesar de só ter entrado em funcionamento em 2002, possui uma localização estratégica (zona urbana vulnerável a inundações) pelo que se optou pela sua inclusão.

**Tabela 4.6 – Características gerais das estações hidrométricas seleccionadas**

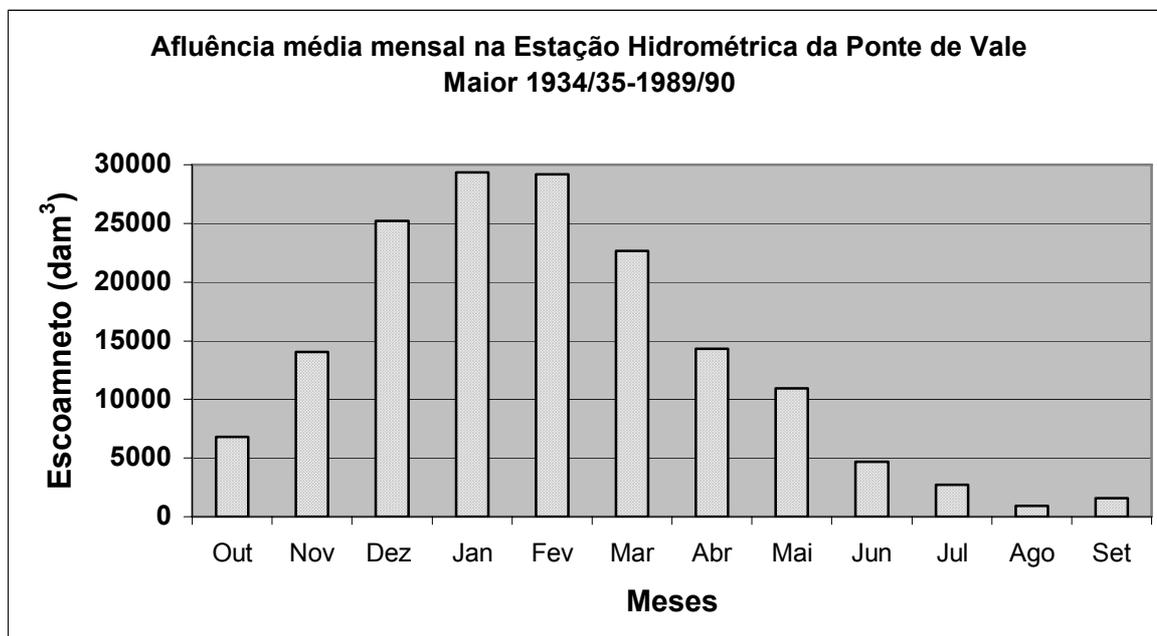
Curso de Água	Estação	Código	Ano Início da Exploração <sup>9</sup>	Altitude (m)	Coordenadas	
					X	Y
Rio Caima	Ponte de Vale Maior	09G/01	1934	18	172 313	414 223
Rio Águeda	Ponte da Redonda	10G/05	1997	30	179 120	397 871
Rio Águeda	Ponte de Águeda	10G/02	2002		173 353	400 285
Rio Alfusqueiro	Ponte do Ribeiro	10G/03	1997	15	177 656	400 363

Fonte: SNIRH, INAG 2004

Nos gráficos seguintes podem visualizar-se os valores do escoamento médio mensal registados nas estações hidrométricas seleccionadas. Os registos traduzem escoamentos mensais muito variáveis ao longo do ano, o que influencia as características dos escoamentos anuais.

Em Ponte de Vale Maior (Gráfico 4.12), no período de 1934/35 a 1989/90, os meses de Janeiro e Fevereiro apresentam os valores mais elevados, ao passo que Agosto é o mês com menor volume médio de afluência (946 dam<sup>3</sup>). Dado que o escoamento médio superficial depende directamente da variação da precipitação, registam-se, como seria de esperar, os escoamentos médios mais elevados durante o semestre húmido (Outubro-Março). Conforme referido no capítulo 4.2, é também neste período que se verifica 75% da precipitação média anual na bacia hidrográfica do Vouga.

**Gráfico 4.12- Evolução da afluência média mensal registada na Estação Hidrométrica de Ponte de Vale Maior no Rio Caima**



**Tabela 4.7 – Valores médio anuais de afluência e caudais registados entre 1934 e 1990 na estação hidrométrica da Ponte de Vale Maior**

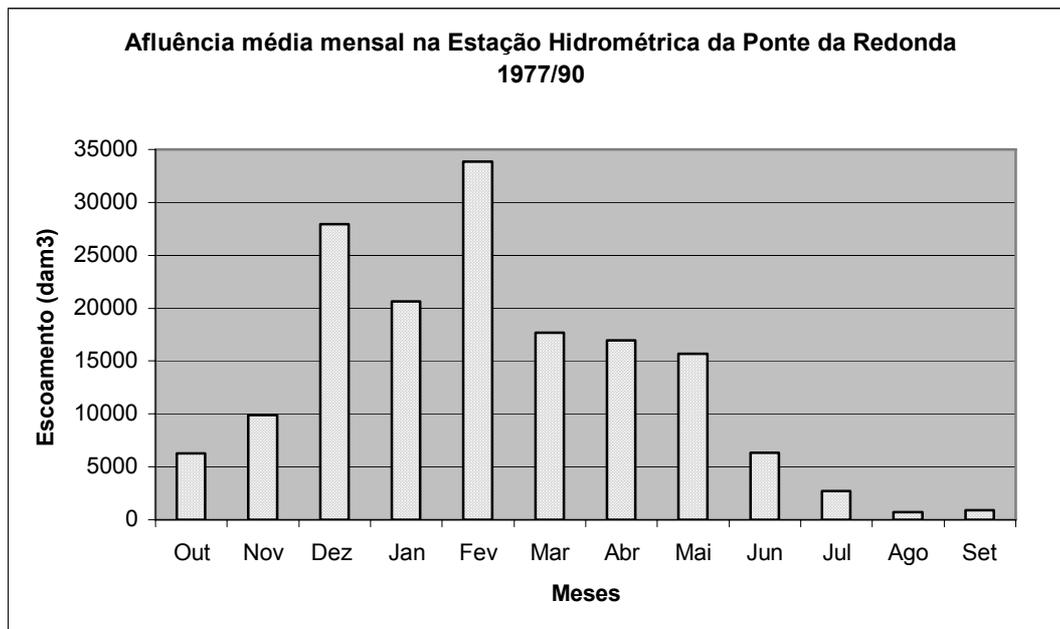
Nome da Estação	Escoamento (dam <sup>3</sup> )			Caudal (m <sup>3</sup> )	
	Médio	Máximo Médio	Mínimo Médio	Máximo Médio	Máximo Instantâneo
Ponte de Vale Maior	13 681	99 010	2882	76,66	790,36

O gráfico 4.13 refere-se aos valores da afluência média mensal registados na estação hidrométrica de Ponte da Redonda, no período de 1977 a 1990. Aqui os meses de Dezembro e Fevereiro apresentam os valores mais elevados, ao passo que Agosto permanece como o mês com menor volume médio de escoamento (719 dam<sup>3</sup>). Registam-se também, à semelhança da Estação

<sup>9</sup> Na rede hidrométrica automática

Hidrométrica de Ponte de Vale Maior, aflúências mais significativas durante o semestre húmido.

**Gráfico 4.13- Evolução da aflúência média mensal registada na Estação Hidrométrica de Ponte da Redonda no Rio Águeda**



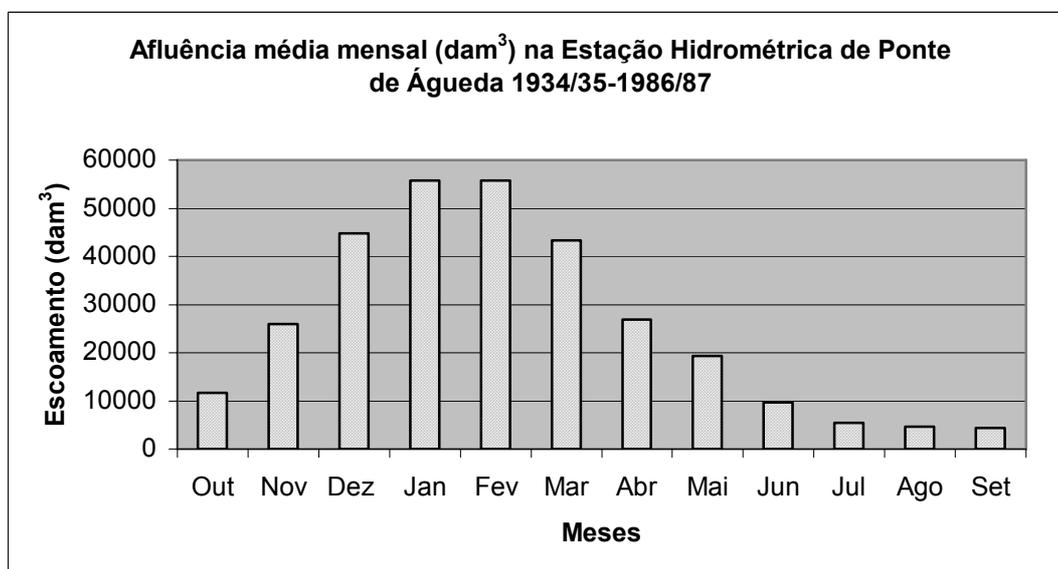
**Tabela 4.8 – Valores médio anuais de aflúência e caudais registados entre 1977 e 1990 na estação hidrométrica da Ponte da Redonda**

Nome da Estação	Escoamento (dam <sup>3</sup> )			Caudal (m <sup>3</sup> ) <sup>10</sup>	
	Médio	Máximo Médio	Mínimo Médio	Máximo Médio	Máximo Instantâneo
Ponte da Redonda	13 296	150 960	5602	236,93	943,73

O gráfico 4.14 traduz os valores da aflúência média mensal registados na estação hidrométrica de Ponte de Águeda, no período de 1934 a 1987. Neste caso, são os meses de Janeiro e Fevereiro que apresentam valores mais elevados, sendo Setembro o mês com menor volume médio de escoamento (4429 dam<sup>3</sup>). Note-se que, uma vez mais, as aflúências médias mais elevadas ocorrem durante o semestre húmido.

<sup>10</sup> Dados obtidos entre 1978 e 1989

**Gráfico 4.14- Evolução da afluência média mensal registada na Estação Hidrométrica de Ponte de Águeda, no Rio Águeda**

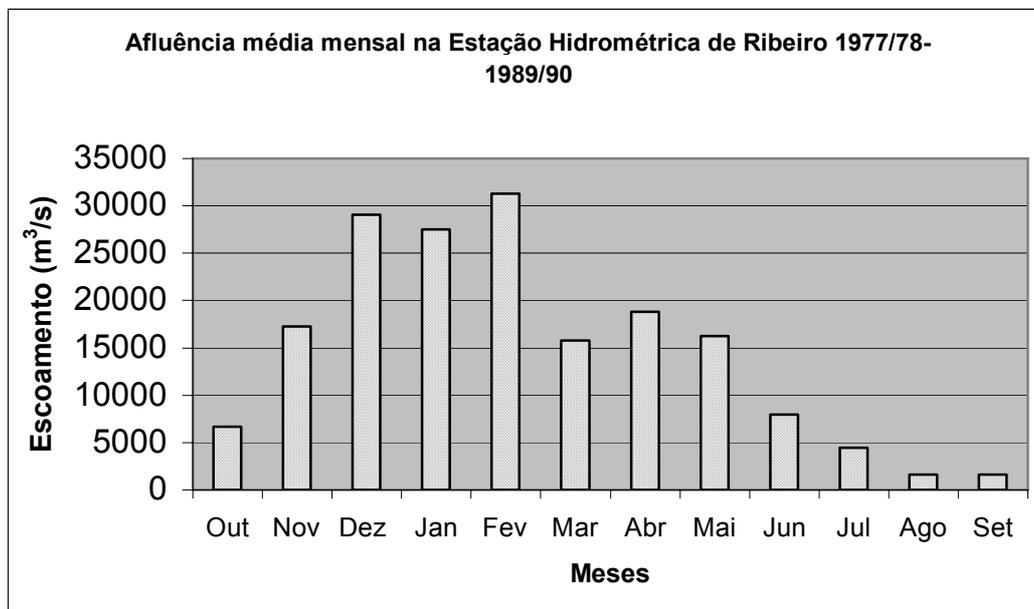


**Tabela 4.9 – Valores médio anuais de escoamento e caudais registados entre 1934 e 1987 na estação hidrométrica da Ponte de Águeda**

Nome da Estação	Escoamento (dam <sup>3</sup> )			Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
	Médio	Máximo Médio	Mínimo Médio	Máximo Médio	Máximo Instantâneo
Ponte de Águeda	25 623	58 910	5302	169,24	228.83

O gráfico 4.15 mostra os valores do escoamento médio mensal registados na estação hidrométrica de Ribeiro, no período de 1977 a 1990. Aqui, são os meses de Dezembro e Fevereiro que apresentam valores mais elevados, sendo Agosto o mês com menor volume médio de escoamento (1602 dam<sup>3</sup>). Conforme já referido na análise dos dados das restantes estações hidrométricas, os escoamentos médios mais elevados ocorrem durante o semestre húmido.

**Gráfico 4.15- Evolução do escoamento médio mensal registado na Estação Hidrométrica de Ribeiro no Rio Alfusqueiro**



**Tabela 4.10– Valores médio anuais de afluência e caudais registados entre 1977 e 1990 na estação hidrométrica de Ribeiro**

Nome da Estação	Escoamento (dam <sup>3</sup> )			Caudal (m <sup>3</sup> ) <sup>11</sup>	
	Médio	Máximo Médio	Mínimo Médio	Máximo Médio	Máximo Instantâneo
Ribeiro	14 852	31 541	6075	228,11	645,55

#### 4.5. Escoamento Fluvial

##### 4.5.1 Variabilidade sazonal e anual

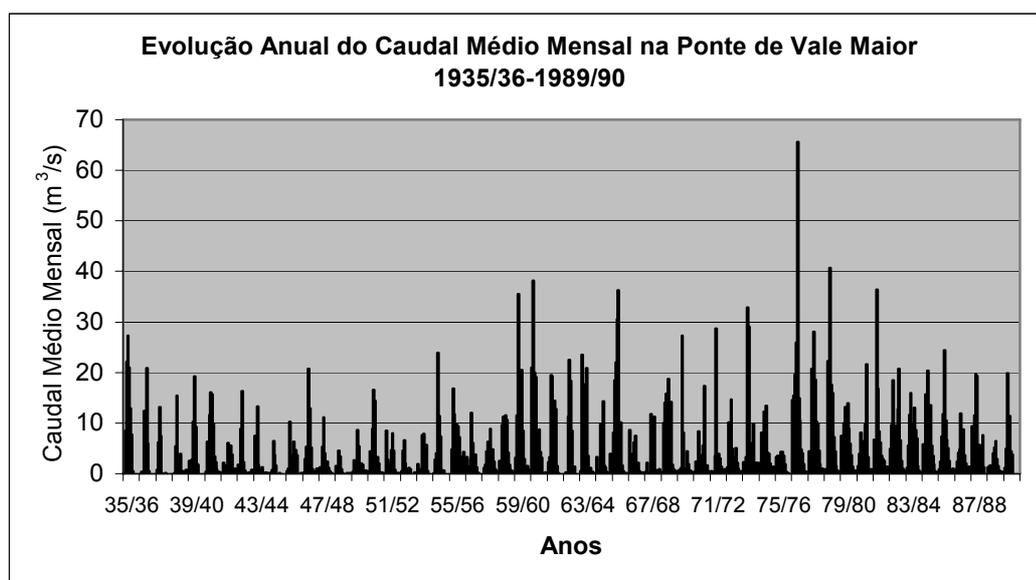
Conforme já mencionado do antecedente, embora a densidade média das estações na Bacia do Vouga proporcione já uma cobertura do território significativa, mesmo superior à média nacional, a qualidade dos registos

<sup>11</sup> Dados obtidos entre 1978 e 1989

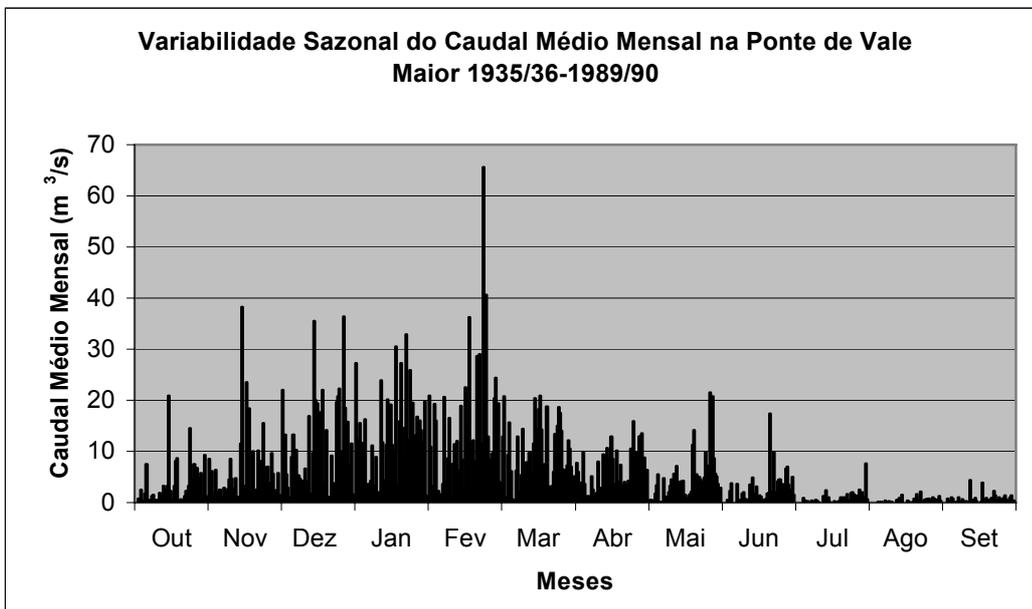
existentes é ainda insuficiente para que se possa efectuar uma análise das situações de cheia. Existem falhas precisamente em períodos onde se sabe que ocorreram cheias significativas, como é o caso do Inverno de 2000/2001, onde os equipamentos das estações foram danificados pela própria cheia. Assim, as curvas de vazão estabelecidas apoiam-se apenas em medições para caudais frequentes. Estes permitem, contudo, avaliar a variabilidade anual e a distribuição sazonal do regime fluvial.

Os dados de caudal que a seguir se apresentam referem-se às estações hidrométricas referidas no ponto 4.

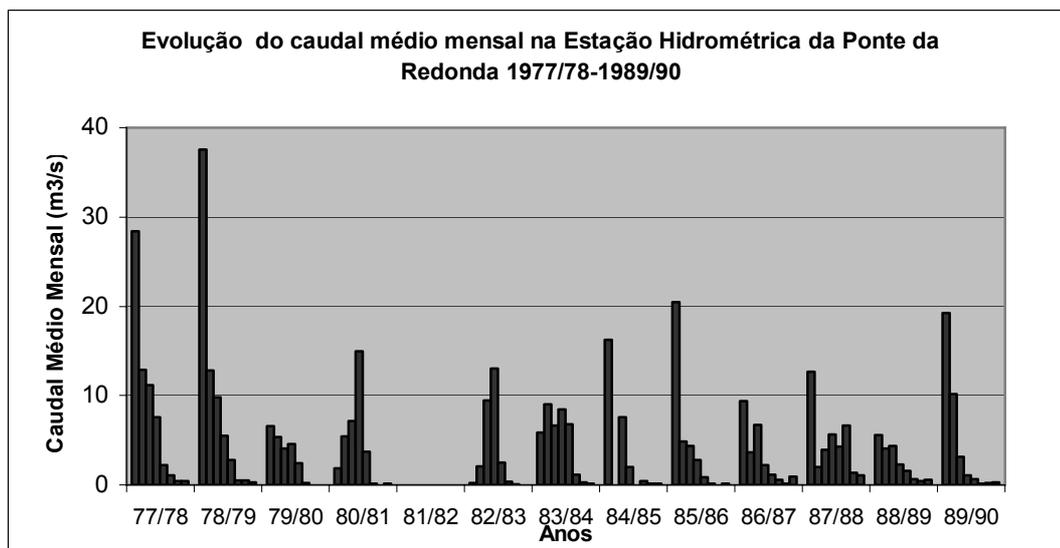
**Gráfico 4.16 – Caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ponte de Vale Maior (Rio Caima) entre 1935 e 1990**



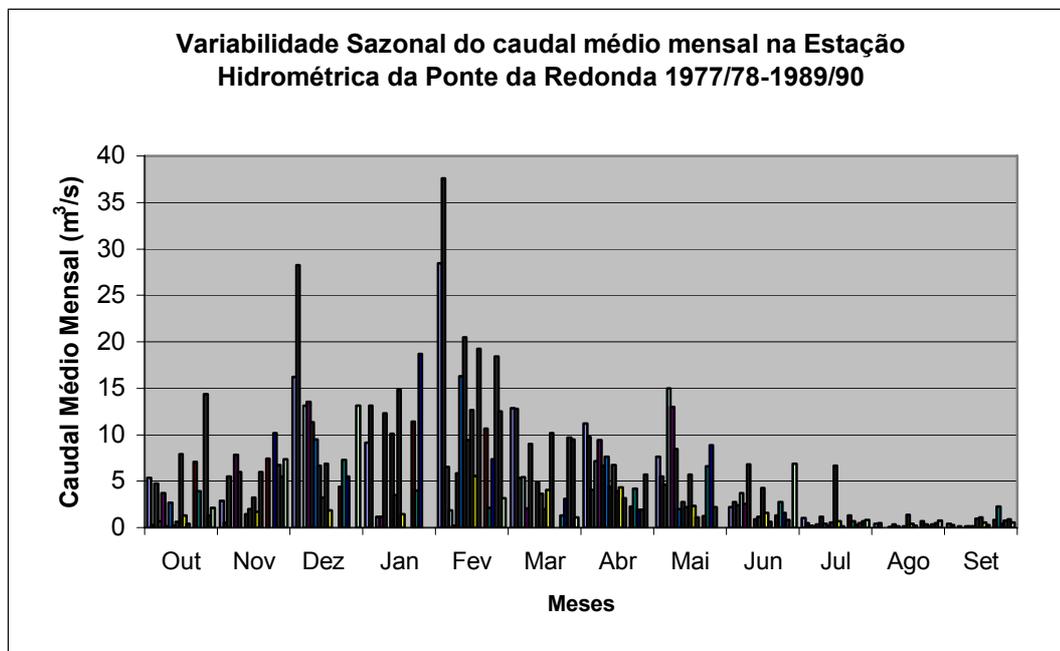
**Gráfico 4.17 – Variabilidade Sazonal do caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ponte de Vale Maior (Rio Caima) entre 1935 e 1990**



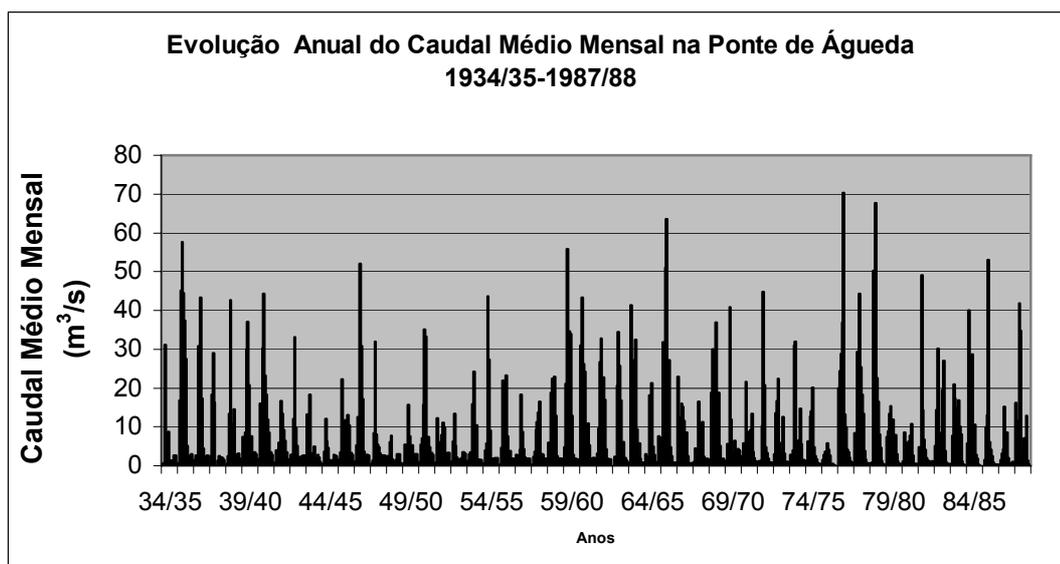
**Gráfico 4.18 – Caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ponte de da Redonda (Rio Águeda) entre 1977 e 1990**



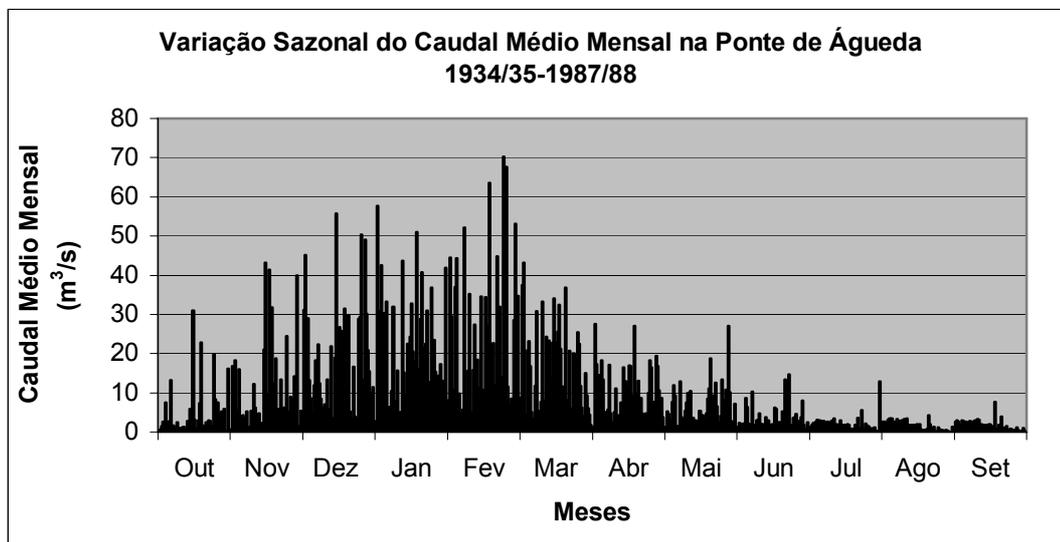
**Gráfico 4.19- Variabilidade sazonal do caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ponte da Redonda (Rio Águeda) entre 1977 e 1990**



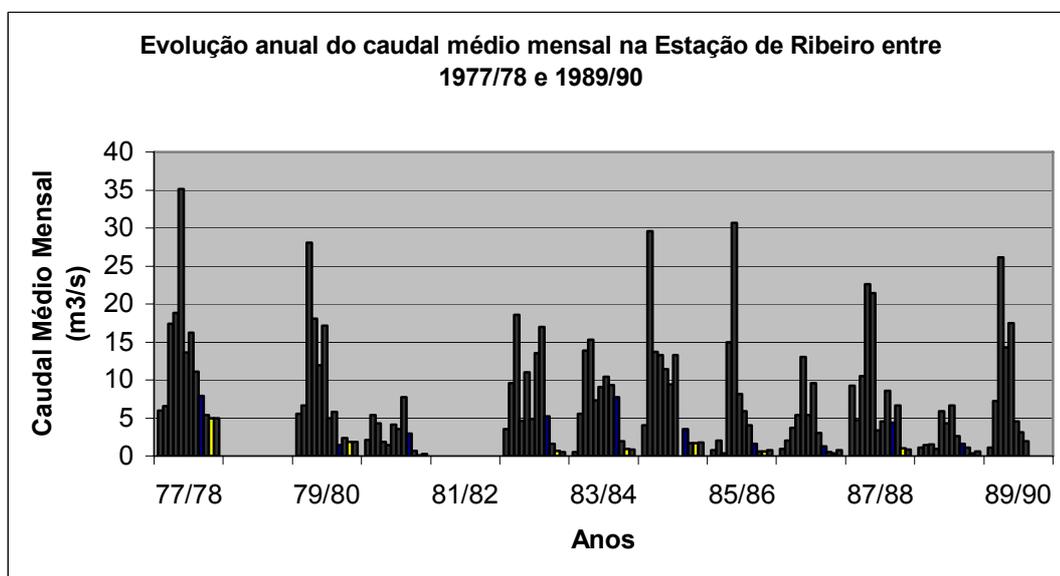
**Gráfico 4.20- Evolução do caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ponte de Águeda (Rio Águeda) entre 1934 e 1988**



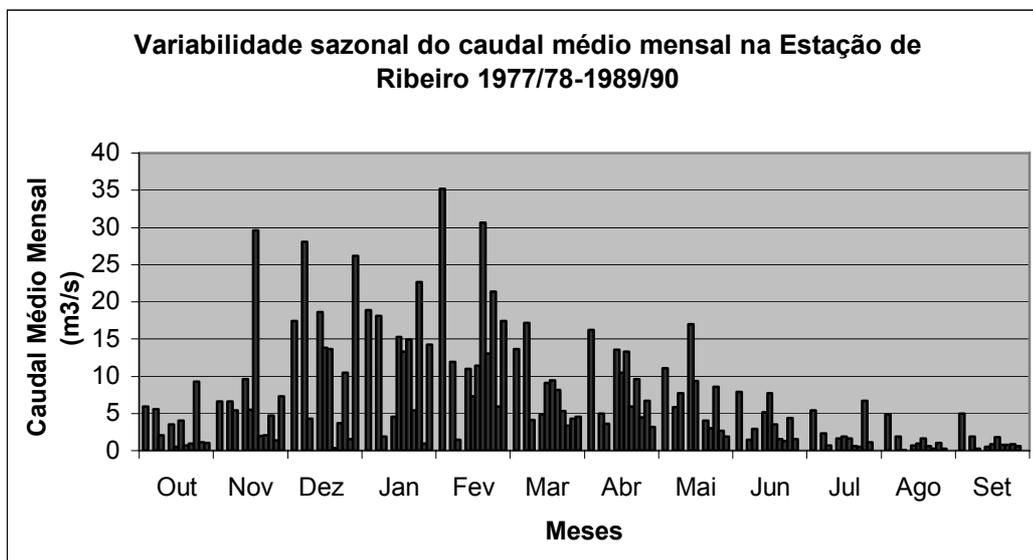
**Gráfico 4.21- Variabilidade sazonal do caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ponte da Águeda (Rio Águeda) entre 1934 e 1988**



**Gráfico 4.22- Evolução do caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ribeiro (Rio Alfusqueiro) entre 1934 e 1988**



**Gráfico 4.23- Variabilidade sazonal do caudal médio mensal na Estação Hidrométrica de Ribeiro (Rio Alfusqueiro) entre 1934 e 1988**



Após a análise dos gráficos, pode concluir-se que existe homogeneidade na evolução anual dos caudais médios mensais para as séries cronológicas apresentadas.

Nas duas sub-bacias (Águeda e do Cértima), verifica-se uma semelhança entre os valores máximos para os caudais referidos, considerando como referencia, respectivamente, as secções estabelecidas nas Estações Hidrométricas de Ponte de Águeda (70.23 m<sup>3</sup>/s) e Ponte de Vale Maior (65.60 m<sup>3</sup>/s). Dentro da sub-bacia do Águeda, também a evolução dos caudais médios mensais é semelhante, com valores de 35.16 m<sup>3</sup>/s na Estação de Ribeiro e de 37.58 m<sup>3</sup>/s na Ponte da Redonda.

Quanto à variabilidade sazonal, existe, tal como em relação ao escoamento médio mensal, atrás analisado, um progressivo aumento dos caudais a partir do início do ano hidrológico, sendo os máximos atingidos nos meses de Inverno, ocorrendo normalmente um pico em Fevereiro. Segue-se um decréscimo, à medida que a estação seca se vai instalando. Nos meses de Verão, os caudais variam pouco, mantendo-se, regra geral, muito baixos em ambas sub-bacias. Assim sendo, tem-se e que no início do ano

hidrológico há uma resposta mais rápida à precipitação, que é contudo contrabalançada pela recarga dos aquíferos subterrâneos.

Através do cálculo do caudais anuais, classificaram-se os anos em que estes atingiram valores máximos (ano húmido), médios e mínimos (ano seco), em cada uma das sub-bacias consideradas. Estes correspondem à classificação obtida através dos coeficientes anuais de precipitação para a Estação do Caramulo no caso do ano seco, mas exibem uma correlação menos boa nos casos dos anos húmido e médio. Tal discrepância poderá explicar-se pela diferenças entre as séries cronológicas (sendo a da precipitação mais longa) e pelas falhas existentes na medição do caudal em alguns anos hidrológicos nas estações analisadas, que inviabilizam o cálculo do caudal médio nesses casos.

**Tabela 4.11- Valores dos caudais característicos (m<sup>3</sup>/s) para os períodos 1935-1990**

Caudais Característicos	Ano Húmido		Ano Médio		Ano Seco	
	Ponte Águeda	Ponte Vale Maior	Ponte Águeda	Ponte Vale Maior	Ponte Águeda	Ponte Vale Maior
<b>Q<sub>m</sub></b> (caudal médio anual)	20.39	14.85	8.81	5.27	2.61	1.00
<b>Q<sub>c</sub></b> (caudal máximo absoluto)	244.67	178.24	107.45	63.20	31.37	11.98
<b>Q<sub>c</sub></b> (caudal mínimo)	0.71	0.38	0.45	0.16	0.60	0.01

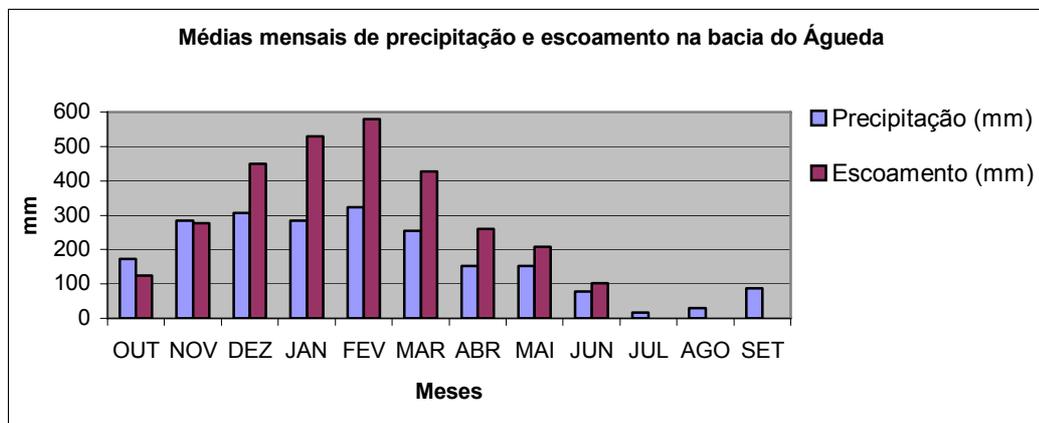
Os caudais característicos apresentam diferenças significativas, especialmente nos valores do caudal máximo absoluto. Note-se os valores elevados registados na Ponte de Águeda e que correspondem a escoamentos igualmente elevados, por contraste com os registos muito baixos do caudal mínimo, o que traduz uma grande variabilidade dos caudais, e logo do volume escoado, em função da precipitação, e que se procurará analisar mais detalhadamente a seguir.

#### 4.5.2 Relação precipitação – escoamento

Para períodos curtos (horas ou mesmo dias) é difícil definir a relação entre o escoamento e a precipitação. Apenas para valores anuais se estabelece, de acordo com alguns autores, uma relação linear entre estes dois parâmetros (Shaw, 1994; Ribeiro dos Reis;2000). Entre outros factores, a dimensão da área de drenagem, e as suas características (geológicas, topográficas, climatológicas, de coberto vegetal, etc..) afectam a forma como o próprio ciclo hidrológico irá decorrer, condicionando parâmetros tais como a evapotranspiração, a infiltração e o escoamento subterrâneo. O solo, e a sua maior ou menor permeabilidade, e consequente grau de saturação, irá também influenciar grandemente a forma como a bacia irá responder à precipitação. Durante o período húmido, e ainda ano início do período seco, quando este está saturado, haverá uma resposta rápida do escoamento à precipitação. Po outro lado, à medida que o período seco avança e até ao início dos meses húmidos, o solo fica progressivamente mais seco e a resposta do escoamento à precipitação vai diminuindo, em detrimento da infiltração e da recarga proveniente dos aquíferos subterrâneos.

No gráfico seguinte comparam-se os valores médios mensais da precipitação na área da bacia hidrográfica do Águeda, definida na Estação Hidrométrica de Ponte de Águeda, e respectivas alturas obtidas a partir da afluência média mensal.

**Gráfico 4.24 – Valores médios mensais para precipitação e escoamento na bacia do Águeda no período 1944/45 a 1986/87**



Verifica-se que a maior percentagem do escoamento ocorre nos meses de Dezembro a Março, acompanhando a distribuição da precipitação.

#### 4.5.3 Caracterização geral do regime das marés

A ria de Aveiro insere-se num sistema lagunar, no qual convergem misturas de diversos fluxos, sólidos e líquidos, e ainda de energia, provenientes do mar, do continente e ainda da própria ria. O nível de água aí existente está sujeito a flutuações, fundamentalmente devidas à maré. Esta corresponde a uma periódica subida e descida do nível da água, devido à diferença de forças de atracção entre o Sol, a Terra e a Lua, ocorrendo diariamente duas preia-mar e duas baixa-mar. As diferenças de amplitude provocadas reflectem-se ao longo dos canais da ria e atingem, obviamente, o curso de água doce que nela desaguam. A velocidade de propagação, contudo, é baixa, podendo os atrasos de fase chegar a mais de cinco horas, em maré baixa, no Canal de Ovar. De acordo com os estudos realizados pelo Instituto Hidrográfico, o forçamento do vento na propagação da maré ao longo dos canais é mais acentuado nas zonas mais largas e afastadas do Canal da Barra. A amplitude máxima de maré é de 3.3 m, a média 2.66 para as águas vivas e 1.27 para as mortas. (Instituto Hidrográfico, 2005).

Na zona da ria de Aveiro, e também no rio Vouga, existe um conjunto de marégrafos que, ao registar os vários níveis de maré durante o dia, permitem a caracterização do regime de marés. (FBO *et al.*,1999;IDAD, 2002;Instituto Hidrográfico,2005).

Dos três marégrafos instalados no rio Vouga (Parrachil, Rio Novo e Cacia), considerou-se que o último seria mais representativo da zona mais a montante do rio Vouga, e de traduzir assim a influência da maré na confluência do rio Águeda. Nas tabelas seguintes apresentam-se os desníveis de maré em preia-mar e baixa mar (máximas, mínimas, águas vivas e mortas) e ainda os retardos de maré em relação à estação de referência: Barra de Aveiro.

**Tabela 4.12– Desníveis de maré e relações de amplitude na ria de Aveiro**

<b>Estação</b>	<b>Lat. (N)</b>	40 41 6		
<b>Cacia</b>	<b>Long. (W)</b>	08 36 09		
<b>PMAV</b>	<b>PMAM</b>	<b>BMAM</b>	<b>BMAV</b>	
-12 cm	+5 cm	+48 cm	+81 cm	
+1 40 h	+ 1 16 h	+1 34 h	+2 03 h	

Note-se que os desníveis são mais acentuados para a baixa mar, e que o retardo de fase atinge as duas horas em águas vivas. Estes factores podem condicionar o escoamento das águas fluviais, tornando-o mais lento e difícil, em especial quando o regime de vento é desfavorável. Contudo, os diversos modelos hidrológicos que procuram simular o regime fluvial em situação de cheia não têm em linha de conta o contributo do regime de marés, ou ainda não o conseguiram integrar esta variável de forma precisa.

## 5. Caracterização do Regime de Cheias

### 5.1. Enquadramento Legal

Em Portugal a primeira grande reforma legislativa relacionada com o que se convencionou chamar “domínio público hídrico” e, por consequência, com o fenómeno das cheias, data de 1971, quando foi publicado o Decreto Lei N.º 468/71, de 5 de Novembro. Este revia, actualizava e uniformizava o regime jurídico do domínio público hídrico (até então disperso e regido por diplomas antiquados, como o Regulamento dos Serviços Hidráulicos, de 1892, ou os Regulamentos Marítimos de 1910 e 1926) incluindo um artigo (o 14.º) no qual surge a definição de “zona ameaçada pelas cheias” como sendo “...a área contígua à margem de um rio que se estenda até à linha alcançada pela maior cheia que se produza no período de um século”. Os terrenos abrangidos por esta classificação ficavam assim sujeitos ao Regime das Zonas Adjacentes (artigo 15.º), e qualquer aprovação de planos de urbanização e expansão relativos a estes, bem como quaisquer obras ou edificações, estariam dependentes de parecer favorável da antiga Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos, hoje substituída pelo Instituto da Água.

Em 1987, surge uma alteração a este diploma (o Decreto Lei N.º 89/87, de 26 de Fevereiro), que dá nova redacção aos artigos 14.º e 15.º passando a “zona ameaçada pelas cheias” a ser definida como “...a área contígua à margem de **um curso de água** que se estende até à linha alcançada pela maior cheia **com probabilidade de ocorrência** no período de um século (cheia dos 100 anos)”. Note-se a alteração de “rio” para “curso de água”, muito mais abrangente e a substituição da efectiva ocorrência da cheia pela sua probabilidade.

Do mesmo modo, a aprovação de planos de urbanização e expansão, bem como quaisquer obras ou edificações nestas zonas, continua dependente

de parecer vinculativo, agora da então Direcção Geral dos Recursos Naturais, hoje substituída pelo Instituto da Água.

Neste Decreto Lei, surgem interdições específicas relativas ao uso destes terrenos, nomeadamente de destruição do revestimento vegetal ou o relevo natural, da instalação de lixeiras ou vazadouros, da implantação de edifícios ou obras que impeçam a livre circulação das águas ou de divisão da propriedade rústica em áreas inferiores à unidade mínima de cultura (Artigo 15.º).

Em 15 de Novembro de 2005, com a publicação da Lei N.º 54/2005, foi estabelecida a titularidade dos recursos hídricos, sendo reformulados, embora de forma algo confusa, os conceitos de **“zonas ameaçadas pelas cheias”** e **“zonas adjacentes”**. Assim, o Artigo 23.º , N.º 1 determina que:” O Governo pode classificar como zona adjacente por se encontrar ameaçada pelas cheias a área contígua à margem de um curso de águas.”, entendendo-se como **“zona adjacente”**, “...toda a área contígua à margem que como tal seja classificada por se encontrar ameaçada pelo mar ou pelas cheias”, estendendo-se as referidas zonas “...desde o limite da margem até uma linha convencional definida para cada caso no diploma de classificação, que corresponde à linha alcançada pela maior cheia, com período de retorno de 100 anos, ou à maior cheia conhecida, no caso de não existirem dados que permitam identificar a anterior.” Repare-se que caiu com esta definição o conceito de “probabilidade de ocorrência de cheia”, instituído pelo Decreto Lei N.º 89/87, de 26 de Fevereiro, recuperando-se a ideia da sua efectiva ocorrência (com período de retorno de 100 anos ou a maior conhecida), suportada por dados concretos. Mantêm-se por outro lado, as restrições de utilidade pública na utilização destes terrenos.

Por outro lado, em 1998, com o Decreto Lei N.º 364/98 de 21 de Novembro, surge a obrigatoriedade de elaboração da carta das zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheia, que ainda não se encontrassem abrangidos por zonas adjacentes classificadas nos termos da legislação anterior.

Este diploma consigna a obrigação dos Planos Municipais de Ordenamento do Território incluírem a delimitação das referidas zonas e diversas restrições relativas a edificação, sistemas de protecção e drenagem e medidas para manutenção e recuperação das condições de permeabilidade do solo. A aplicação destas restrições atende às características das cheias, nomeadamente no que concerne à sua profundidade<sup>12</sup> e período de retorno.

Ainda em 1998, foi criada pelo Decreto Lei N.º 21/98 de 03 de Fevereiro, a Comissão de Gestão de Albufeiras. Entre as suas atribuições figura, pelo disposto no artigo 4.º, a constituição de um *comité* permanente de acompanhamento em situações de emergência provocadas por iminência ou ocorrência de cheias ou rupturas de barragens. Dessa Comissão e do *comité* fazem parte, entre outros organismos, o ex-Serviço Nacional de Protecção Civil, actual Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil. Peça importante para garantir a informação deste organismo é o Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias, desenvolvido pelo INAG, que congrega dados meteorológicos, hidrométricos e de exploração de albufeiras. Estes são armazenados num servidor do INAG e podem ser acedidos por um utilizador autorizado, através de uma aplicação denominada “RIOS”. Este sistema teve o seu início no Inverno de 95/96, com a automatização de três estações hidrométricas no rio Tejo. Actualmente, este possui 78 estações automáticas com telemetria (64 hidrométricas e 14 udométricas). O número de estações de medição de nível nas albufeiras é de 81, sendo 20 exploradas pelo grupo EDP (Rodrigues *et al.*, 1998; Rodrigues, 2001). Hoje em dia, o Sistema passou a designar-se “Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos”, integrando estações de diferentes tipos: Qualidade, Hidrométricas e Meteorológicas. A rede de monitorização encontra-se ainda em fase de reestruturação, estando previstas novas estações e a reactivação de algumas antigas, agora automatizadas.

---

<sup>12</sup> Seria mais correcto falar em “altura de água” do que em “profundidade”, mas o legislador ...

A potencial rotura de uma barragem, apesar da sua baixa probabilidade, representa, pelas eventuais consequências em termos de perda de vidas e custos económicos, um risco sério que mereceu já atenção legislativa particular. Assim, o Decreto Lei N.º 11/90 de 06 de Janeiro aprovou o Regulamento de Segurança de Barragens durante as diferentes fases, de projecto, construção, primeiro enchimento e abandono. Mais uma vez, o SNBPC é uma das entidades com competências atribuídas no controlo de segurança, ao nível do planeamento de emergência e coordenação de acções de socorro (Artigo 7.º). Em 1993, esta legislação foi actualizada, com o Decreto Lei N.º 409/93, de 14 de Dezembro. Surge aí o Regulamento de Pequenas Barragens (altura igual ou inferior a 15 m, contados desde as fundações e capacidade de armazenamento menor que 100000 m<sup>3</sup>). Este enquadramento legal completa-se com a Portaria N.º 846/93, de 10 de Setembro, na qual se determina a necessidade de avaliação das áreas inundadas em consequência da ruptura da barragem e o estudo de sistemas de aviso e previsão de cheias (n.º 4 do Artigo 6).

Apesar desta legislação contar já alguns anos, só agora se estão a dar os primeiros passos no sentido da elaboração de planos de emergência para a eventualidade de uma rotura, estando em fase de conclusão os Planos de Emergência das Barragens do Funcho e do Arade (Algarve) e em estudo o Plano de Emergência da Barragem do Alqueva (Alentejo).

Mais recentemente, um outro instrumento legal crucial para a gestão dos recursos hídricos na Bacia do Vouga foi aprovado, com repercussões importantes no ordenamento das zonas inundáveis: o Plano de Bacia Hidrográfica do Vouga (Decreto Regulamentar N.º15/2002, de 14 de Março).

Entre outras áreas temáticas, o Plano inclui a análise das situações de risco, nomeadamente de erosão hídrica e inundação.

Em relação às situações hidrológicas extremas (secas e cheias) foram efectuados estudos de caracterização, os quais apontam causas diversas para a ocorrências das mesmas. Assim, foram identificadas, para as inundações, as seguintes causas :

- Cotas baixas: extensa zona de planície aluvionar; influência das marés, que se fazem sentir até à zona de Eirol, na confluência dos rios Águeda e Vouga;
- Incêndios Florestais: diminuição do coberto vegetal;
- Secções de vazão insuficientes em pontes e pontões.

O PBH preconiza uma série de medidas para a protecção dos efeitos das cheias:

- Promover o ordenamento das áreas ribeirinhas sujeitas a inundações e o estabelecimento de cartas de risco de inundação e a definição de critérios de gestão, a regularização fluvial e a conservação da rede hidrográfica.
- Consignado na lei existe mesmo um Programa de Acção (Programa 4 Prevenção e Minimização dos Efeitos das Cheias, Secas e dos Acidentes de Poluição) que pretende desenvolver uma gestão integrada da albufeira neste sentido.

Além desta legislação com incidências sobretudo ao nível da gestão de recursos, existem diversos protocolos que têm como objecto a melhoria das medidas face à ocorrência de inundações, especificamente no que concerne aos sistemas de previsão e prevenção nos grandes rios: Tejo, Douro e Sado. Celebrados respectivamente em 1984, 1995 e 1988, entre várias entidades com competências no assunto (SNBPC, Marinha, INAG, IM, CPPE), pretendem genericamente garantir o funcionamento de sistema de prevenção e previsão de cheias e os consequentes avisos à população. Em resumo, os instrumentos legais do nosso quadro legislativo existem e, em muitos casos, funcionam. Faltarão talvez uma maior aplicabilidade à realidade, e um esforço para colocar em prática muitas medidas que ainda não foram tomadas, ao nível do planeamento e ordenamento, mas também dos sistemas de alerta e socorro à população. Prevenir ainda é um acto incipiente, em vez do acto organizado e baseado em informações científicas credíveis. Melhorar os métodos de previsão, coordenar eficazmente o conjunto de entidades envolvidas, consciencializar a

população para o risco e a auto protecção e investir no ordenamento do território, constituem desafios inadiáveis.

## 5.2. Caracterização

### 5.2.1 Tipos de Cheia

O impacto das inundações, através da erosão ou da deposição de sedimentos e outros materiais, e que se sente ao nível de perdas sociais e económicas, irá depender, em grande parte, da combinação de diversos factores, tais como a sazonalidade e frequência destes fenómenos, o tipo de inundações e a forma do hidrograma de cheia (LNEC,1992).

Quando se trata de **cheias fluviais**, pode-se distinguir diversos tipos de fenómenos, que podem dar origem a inundações :

- As **cheias nos vales** ocorrem sobretudo como resultado de um escoamento que excede a capacidade de vazão dos canais do rio, e ultrapassa as margens naturais ou artificiais.
- A inundações de **planícies aluvionares**, ou de outras áreas baixas, por sua vez, ocorre em condições húmidas, quando uma toalha de água, já de si pouco profunda, sobe acima do nível da superfície. Este tipo de inundações é muitas vezes um precursor imediato de inundações por galgamento dos canais do rio (ex.: Campos do Vouga).
- Em **condições de seca**, quando a superfície do solo endurece, áreas extensas poderão ficar inundadas por ocorrência de precipitação intensa ressaltando nessa superfície impermeabilizada. Esta inundações é típica de zonas áridas e semi-áridas, mas poderá acontecer excepcionalmente noutras, se as condições climáticas se proporcionarem.
- Também típicas de regimes áridos e semi-áridos são as situações onde as águas não circulam por canais claramente definidos, ocorrendo uma **inundações em “lençol”**, provocada pelo movimento lateral livre da água, que escoam ao longo do fundo de um vale anteriormente seco, ou de terreno aluvial.

- Em **zonas urbanas**, as cheias resultam muitas vezes de transbordo ou impacte directo em superfícies impermeáveis, mas podem também ocorrer quando escoamentos de águas pluviais ou saneamento ficam sobrecarregados e transbordam. Factores como o envelhecimento dos materiais ou dimensionamento inadequado de condutas contribuem para este tipo de incidentes (ex.: na cidade de Águeda, devido a problemas de sub-dimensionamento e inadequação da rede de saneamento, existe infiltração de água do rio pelos esgotos para a zona baixa da cidade na sequência de precipitações intensas de curta duração).

Outra distinção útil no que toca às inundações é a espécie de fenómeno meteorológico que lhe poderá dar origem (Estrela *et al.*, 2001). Na Europa, podem distinguir-se dois tipos principais de eventos :

- Precipitação sazonal, provocada pela passagem de superfícies frontais pelo território, ocorrendo em bacias hidrográficas de grande dimensão. Nestes caso, o hidrograma de cheia apresenta geralmente uma base larga, e a subida/descida do nível das águas é lenta, podendo a cheia estender-se por vários dias.
- Inundações rápidas e violentas, típicas de bacias hidrográficas de pequena ou média dimensão, associadas a precipitações muito intensas de curta duração, localizadas e isoladas. As descargas duram normalmente apenas horas ou minutos.

Em relação ao **Tipo 1**, este caracteriza-se pela inundação de grandes áreas, por uma resposta mais lenta da bacia à causa da cheia (normalmente precipitação contínua ao longo de vários dias na sequência da passagem de superfícies frontais), maior duração, e caudais mais baixos e de menor velocidade do que os que ocorrem em inundações repentinas. Por outro lado, como o nível das águas sobe lentamente e o tempo de resposta da bacia é longo, existe uma maior margem de manobra para actuação de sistemas de

aviso e alerta à população e para o efectivo funcionamento de sistema de defesa e mitigação da ocorrência. Neste caso, a utilização da previsão em tempo real, através de programas de monitorização de caudais e precipitação, poderá ser um trunfo valioso. Este é o tipo de cheia que mais se aproxima dos episódios verificados na bacia do Vouga.

Os impactos e os danos económicos resultantes deste tipo de inundações poderão ser graves, atendendo à dimensão da área inundada, e ao facto de, muitas vezes, as comunidades em causa não estarem preparadas para o risco a que estão sujeitas.

Quanto ao **Tipo 2**, encontra-se associado a situações de tempestade, a áreas montanhosas, onde o declive acentua a precipitação e a possibilidade de deslizamentos, ou, em situações excepcionais, à rotura de barragens. Tendem a ser eventos localizados, numa escala geográfica muito menor do que o Tipo 1, mas devido ao seu rápido desenvolvimento, à velocidade dos caudais envolvidos, e ao facto de muitas vezes estarem associados a fenómenos de deslizamento de terras, constituem o maior risco em termos de perda de vidas humanas. Aqui, a possibilidade de se desencadarem atempadamente procedimentos de aviso e medidas de emergência é limitada.

Um aspecto chave deste tipo de inundações é a desproporção entre os caudais máximos atingidos durante o evento e os caudais médios anuais, que chega a ser de 1/3000 (Estrela *et al.*, 2001). Esta situação aproxima-se mais das cheias vividas nos últimos anos na sub-bacia hidrográfica do Águeda, em particular os episódios de 1997 e 2001, que serão analisados mais à frente.

Em resumo, para analisar o desenvolvimento de uma cheia e consequente inundações, existem quatro factores preponderantes: o tipo de fenómeno meteorológico associado; a dimensão da bacia hidrográfica em causa; as características topográficas e de ordenamento do território da zona inundável e os factores sócio- económicos (Rocha, 1998).

### **5.3. Identificação**

#### **5.3.1 Causas**

A maior parte das cheias fluviais resulta, directa ou indirectamente, de eventos climatológicos tais como chuva intensa e/ou de elevada duração. Em zonas com Invernos frios, onde a neve se acumula, inundações substanciais ocorrem habitualmente durante o período de degelo, na Primavera e início do Verão, quando as taxas de fusão são elevadas.

As cheias podem também resultar dos efeitos da pluviosidade numa camada de neve já a fundir, ou o colapso súbito de blocos de gelo, formados durante a quebra do gelo dos rios. Este tipo de eventos são próprios de países com um clima muito diferente do de Portugal, pelo que apenas se fará a eles esta breve referência.

Os deslizamentos de terra podem causar inundações de várias maneiras. Em primeiro lugar, a acumulação de água ocorre atrás da barreira de detritos, causando inundações a montante do local. Depois, quando esta “barragem temporária” é galgada, a erosão dos materiais que a constituem, ou mesmo a sua rotura, provoca uma onda de inundação a jusante (Lorena,1997).

Os deslizamentos podem também provocar a subida repentina do nível das águas que são atingidas, levando ao galgamento de barragens, com um resultado similar. Eventos semelhantes ocorrem ainda no caso de rotura de barragens ou diques, provocadas por anomalias técnicas ou catástrofes naturais/tecnológicas (sismos, cheias milenares, atentados, etc.).

A actividade humana funciona muitas vezes como um factor agravante, através da modificação de variáveis hidrológicas fundamentais, tais como a capacidade de armazenamento, de infiltração e de transmissividade. O crescimento populacional, com a ocupação intensiva de zonas ribeirinhas, contribui também para agravar o impacto deste tipo de fenómenos.

### 5.3.2 Efeitos

#### 5.3.2.1. Impactos das inundações

Os efeitos das inundações traduzem-se a diversos níveis. No limite, os mais graves são a perda de vidas humanas e os danos materiais avultados. Mas existem outro tipo de efeitos, às vezes difíceis de contabilizar. A ruptura do tecido económico e produtivo que uma inundação de grandes dimensões pode provocar, as despesas com os serviços de socorro e assistência às populações, problemas sanitários e de saúde pública, os investimentos em medidas de defesa, como diques, barragens, alterações no ordenamento do território, sistemas de alerta e aviso, problemas de comunicações e transportes, de abastecimento de água, os custos de limpeza e reparação das zonas afectadas, os efeitos psicológicos nas populações que vivem em zonas ameaçadas ou sofreram o trauma de enfrentar uma inundação de consequências catastróficas.



Consequências das inundações em Janeiro de 2001. Águeda.

A extensão dos efeitos provocados por uma inundação depende de um conjunto de factores: **altura da inundação, duração da onda de cheia,**

**velocidade, quantidade de material transportado, grau de poluição da água.**

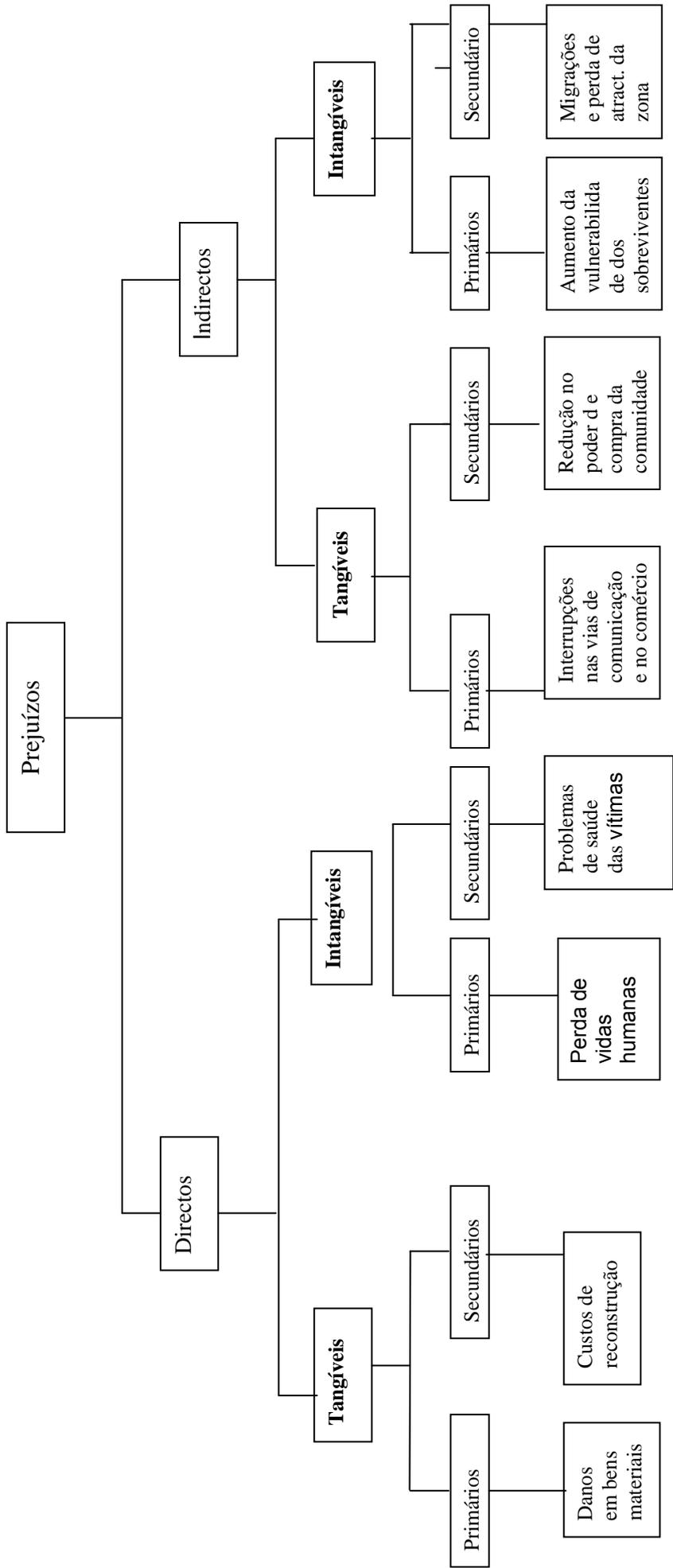
Na avaliação dos prejuízos, existem genericamente dois tipos considerados, segundo diversos autores (Penning-Rowsell & Fordham, 1994; Smith & Ward, 1998; Estrela *et al.*, 2001).

- **Prejuízos directos**, os quais ocorrem como consequência imediata da cheia/inundação, como resultado do contacto das águas e/ou detritos arrastados com a população ou os seus bens
- **Prejuízos indirectos**, mais difíceis de relacionar com a inundação em si, e que se prolongam muitas vezes no tempo, tais como as perturbações no sistema produtivo ou problemas psicológicos ou doenças crónicas resultantes nos sobreviventes.

Dependendo de se conseguir traduzir, ou não, esses prejuízos em valores monetários, podem ainda dividir-se em **tangíveis** ou **intangíveis**, **primários** (resultam directamente da inundação) ou **secundários** (resultam de outras causas derivadas da inundação).

No diagrama da página seguinte procura-se sistematizar os diferentes tipos de prejuízos associados a uma cheia e consequente inundação.

A título de exemplo, os prejuízos provocados pelas cheias no Distrito pelas cheias, entre Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001 (danos em habitações, comércio e indústria, estradas e outras infra-estruturas, agricultura, etc.) cifraram-se, segundo os registos do ex-Serviço Nacional de Protecção Civil, em mais de nove milhões de contos (cerca de 45 milhões de euros).



### 5.3.2.2. Métodos de cálculo dos prejuízos

Quando surgem inundações graves, após as primeiras medidas de socorro às vítimas e da limpeza/ reparação de estruturas afectadas, surge sempre a questão de avaliar o montante dos prejuízos. Para além de razões óbvias, como indemnizações e seguros, é a partir desta informação que se poderá estimar o risco total para uma zona, e preparar medidas de mitigação dos efeitos e de defesa, baseadas em avaliações de custo/eficácia.

No entanto, não se pode esquecer que estas avaliações, pelas suas próprias características, têm tendência a atender somente a determinados aspectos mensuráveis, ou contabilizáveis em termos económicos, em detrimento de outros efeitos, muitas vezes mais importantes, mas aos quais é difícil atribuir valor monetário. Assim, privilegiam-se os prejuízos directos e tangíveis (ver esquema da página 110) quando se tentam elaborar avaliações custo/benefício das medidas de defesa e mitigação das cheias, o que nem sempre resulta na melhor estratégia a longo prazo.

Existem, genericamente, dois tipos de abordagens para calcular as **perdas económica directas** ocasionadas pelas inundações (Smith & Ward, 1998):

- Inventário dos danos provocados após a ocorrência do evento, a partir de questionários ou entrevistas;
- Estimativa dos prejuízos potenciais esperados aquando de uma inundação de determinadas características (duração, velocidade da onda de cheia, cotas atingidas, tipo de ocupação da zona), baseada em relação genéricas entre estas características da cheia e os danos gerados.

Geralmente, e uma vez que conforme se viu anteriormente existem diversos factores que podem influenciar a extensão dos danos provocados pela inundação, a maior parte dos métodos de cálculo

utiliza a relação cota/prejuízo, desenhando curvas que identificam, para cada valor de cota atingido a partir de um determinado nível base (p.ex.: o rés do chão dos edifícios) o dano correspondente.

Quando se dispõe de dados suficientes, estas curvas poderão ser modificadas de acordo com outras variáveis, como a duração da inundação ou a qualidade da água (Penning-RowSELL & Fordham,1994; Smith & Ward,1998).

A combinação dos resultados obtidos pelos dois métodos será uma mais valia, uma vez que a informação recolhida no terreno após o evento servirá para validar as estimativas obtidas através da tipificação dos prejuízos esperados para um determinado tipo de inundação.

A estimativa dos **prejuízos indirectos** é mais difícil. Uma das principais dificuldades será o de como atribuir um valor económico à perda de uma vida humana, aspecto sempre controverso. Também a avaliação dos efeitos a longo prazo do *stress* resultante de uma situação deste tipo, tais como ansiedade, depressão, problemas familiares ligados ao desaparecimento de entes queridos, desemprego ou outros, se mostra complicada, envolvendo o seguimento das vítimas por períodos prolongados de tempo e sendo de quantificação complexa. O mesmo poderá ser dito de problemas de saúde crónicos devidos às inundações, que dependem muitas vezes de registos hospitalares dispersos e difíceis de correlacionar.

Calcular outro tipo de perdas indirectas, como prejuízos no tecido económico ou custos de interrupções nas vias de comunicação, é igualmente complexo, pela multiplicidade de factores envolvidos, que dificultam a atribuição de uma relação causa/efeito e a quantificação das perdas (Penning-RowSELL & Fordham, 1994; Smith & Ward, 1998).

Como exemplo flagrante de uma situação complexa desta natureza pode apontar-se o caso da queda da Ponte Hintze-Ribeiro, que fazia a ligação Castelo de Paiva/Entre-os-Rios, ocorrida em Março de 2001 e que levou à morte dezenas de pessoas. Os diversos impactos sociais,

psicológicos, legais, mediáticos e políticos da situação traumatizaram o país e ainda têm repercussões hoje em dia.

Ponte Hintze-Ribeiro, Castelo de Paiva, Março de 2001.



### 5.3.3 Benefícios das cheias

Por sua vez, não se pode esquecer que, para além dos efeitos negativos, as cheias têm igualmente efeitos benéficos. Estes são muitas vezes ignorados, por serem menos compreendidos e mais difíceis de contabilizar do que as perdas. No entanto, uma cheia “natural” ou “normal”, traz vantagens para a zona ribeirinha envolvente.

Não se pode esquecer que, ao longo da História, as comunidades humanas se instalaram junto aos vales férteis perto dos rios. Muitas civilizações nasceram e desenvolveram-se nessas áreas naturalmente propícias à agricultura, à pesca e à navegação. Mais recentemente, foram as indústrias que aí se instalaram, devido à abundância de recursos hídricos e ao facto destas zonas constituírem corredores privilegiados para as redes rodó e ferroviárias.

Em síntese, os benefícios da subida e posterior descida lenta e sazonal do nível das águas dos rios, traduzem-se na formação de terrenos aluvionares férteis, na manutenção da diversidade ecológica, na depuração, através do solo e da vegetação ribeirinha, do excesso de nutrientes, poluentes e sedimentos provenientes do escoamento superficial antes que atinjam o rio, na recarga dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e no fornecimento de nutrientes e água ao solo (Smith & Ward, 1998).

Eliminar a ocupação humana destas zonas ricas e plenas de recursos seria não só inviável como contraproducente. (Re)aprender a viver com as cheias, minimizando os seus riscos e controlando o desenvolvimento urbano e demográfico, e as pressões que estes implicam, será a única forma de ultrapassar os graves prejuízos que, por vezes, acarretam, para continuar a aproveitar os seus benefícios, tantas vezes desprezados pela sociedade moderna.

#### **5.4. Medidas de Defesa**

Quando se pensa nos benefícios de tomar medidas de defesa contra a ocorrência de possíveis inundações, estes parecem-nos imediatos e evidentes. Se uma inundação causa prejuízos, parecerá lógico fazer algo para evitá-los. Mas esse “algo”, economicamente falando, terá certamente os seus custos. E antes de arriscar investimentos cujo valor desconhecemos, há que avaliar as suas vantagens, e os seus custos exactos.

Existem diversos métodos de avaliação dos benefícios de medidas de defesa/mitigação das cheias, desenvolvidos em muitos países. No sentido global, todos procuram avaliar as perdas que seriam evitadas, através de um conjunto de medidas, comparando-as com a “opção zero”, i.e., não fazer nada (Penning-Rowse & Fordham, 1994).

As acções a desenvolver sobre as zonas potencialmente inundáveis podem ser agrupadas em quatro grupos: **modificação das cheias, modificação**

**do impacto das cheias, modificação da vulnerabilidade da zona, gestão dos recursos naturais e culturais** (Rocha, 1998;Oliveira,2002).

A **modificação das cheias** pode ser conseguida através de medidas como a construção de barragens, diques e estruturas de contenção, desvio de caudais de cheia e colocação de descarregadores. Este tipo de acções modificam o volume da cheia, o seu nível máximo, o tempo de subida das águas, a duração total e a extensão da zona inundada, a velocidade e a altura da inundação, ou seja, as características físicas da cheia.

Mas mesmo com este tipo de estratégia, muitas vezes ainda subsistem riscos em determinadas zonas, pelas suas características, ou pelo tipo de inundação em causa. Assim, acções para a **modificação do impacto das cheias** são também necessárias. Incluem-se aqui a assistência das pessoas e das comunidades envolvidas, na preparação, na sobrevivência e na recuperação após inundações não controladas. Muitas destas são também da responsabilidade da protecção civil, tais como a disseminação de informação adequada, a educação para a emergência, a preparação de planos de emergência e de sistemas de alerta e aviso. Algumas outras estão cometidas às autoridades ou mesmo aos próprios cidadãos, como a diluição dos danos económicos, os seguros ou a auto-protecção.

A **modificação da vulnerabilidade da zona** é um tipo de estratégia a longo prazo, com resultados menos visíveis de imediato, mas da maior importância pelos resultados que se podem conseguir. Consiste basicamente em evitar a utilização perigosa e indesejável das zonas inundáveis. A regulamentação do uso deste tipo de espaço, tantas vezes sujeito a pressões enormes, através de políticas de ordenamento do território, é um instrumento da máxima importância.

A última medida, **gestão dos recursos naturais e culturais**, deriva necessariamente da anterior, pois é através da gestão adequada dos recursos das zonas inundáveis que se poderá alterar a sua vulnerabilidade (Rocha, 1998).

Genericamente, as medidas de defesa podem dividir-se em dois grandes tipos: **estruturais e não estruturais**.

#### 5.4.1 Estruturais

São utilizadas desde há muito tempo para prevenir inundações e atenuar os seus impactos. São geralmente medidas de custo elevado, pelo que a sua aplicação deverá ser justificada pelo grau de protecção que conferem à zona, i.e., pelo valor do dano que evitam, tal como visto atrás. Distinguem-se três tipos de medidas estruturais:

- Redução da **quantidade máxima do escoamento**, tais como barragens, áreas de inundação controlada, florestação e protecção do solo.
- Redução das **cotas** para um dado escoamento, como canalização de rios, diques de protecção, protecção e limpeza dos leitos.
- Redução da **duração do escoamento**, tais como sumidouros para vias férreas e rodoviárias.

Águeda, centro da cidade. 26 de Janeiro de 2001



**Tabela 5.1– Principais tipos de medidas estruturais de combate às inundações**

<b>Tipo de Estrutura</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Barragens</b>	Eficiência elevada na redução da frequência e magnitude das inundações. Produzem menos impactos do que a canalização artificial do rio.	Custo elevado. Perigo de rotura em casos excepcionais. Impactos ambientais no ecossistema.
<b>Canalização artificial do rio ou criação de leitos alternativos</b>	Pode ser usado em zonas íngremes ou densamente povoadas onde outro tipo de medidas (barragens, diques) seriam inviáveis.	Pode aumentar as descargas de ponta de modo significativo, especialmente se forem dimensionados para períodos de retorno curtos. Custos elevados. Impactos ambientais elevados.
<b>Diques</b>	Mais simples, baratos e com menos impactos do que as barragens.	Perigo de rotura Exige manutenção frequente.
<b>Zonas de inundação artificiais</b>	Recupera a paisagem natural. Custos baixos.	Utilização limitada a determinadas zonas e tipos de inundação.
<b>Florestação/Criação de habitats</b>	Recupera a paisagem natural. Pouca manutenção.	Resultados demoram algum tempo a surgir. Só aplicável em algumas zonas.

Fonte : Estrela *et al.*, 2001 (adaptado)

#### 5.4.2 Não Estruturais

Nos últimos anos, as medidas ditas não estruturais têm vindo a ganhar importância. Este tipo de acções não implicam a construção de infra-estruturas para o controle das inundações, mas procuram minorar os danos através de processos de gestão de recursos e de ordenamento do território. A longo prazo, as suas vantagens são maiores e mais evidentes, em termos de custos e de resultados. Apostar na prevenção das ocorrências, ao invés de agir sobre os processos físicos é, no entanto, um processo mais lento e de resultados menos visíveis no imediato, necessitando de mudanças de comportamento e de políticas por vezes difíceis de conseguir.

As principais medidas deste tipo dividem-se em três grandes grupos (Rocha, 1998; Maia & Ribeiro, 1998; Estrela *et al.*, 2001):

- Acções tendentes a reduzir o possível impacto de uma inundação nas estruturas existentes, tais como construção mais segura, barricadas, reforço da estrutura dos edifícios;
- Medidas ligadas ao ordenamento do território em zonas inundáveis, tais como a identificação de “zonas negras”, a definição de zonas de segurança (as “zonas adjacentes” da legislação portuguesa, como explicitado na secção 5.1), a restrição à edificação, etc.;
- Sistemas de aviso e alerta e medidas de gestão de situações de cheia, como previsão hidrológica em tempo real, planos de emergência e evacuação. Em Portugal, como referido na secção 5.1, existe um Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias, desenvolvido pelo Instituto da Água.

## 6. Zonas Vulneráveis à Inundação no Distrito de Aveiro

### 6.1. Áreas Vulneráveis

O levantamento de vulnerabilidades que a seguir se apresenta foi elaborado no decorrer de 2001, para suprir as necessidades de planeamento sentidas pela CDOS de Aveiro. Esta informação encontra-se com maior grau de detalhe numa base de dados apresentada em anexo, na qual se descrevem, além das áreas vulneráveis, quais as infra-estruturas potencialmente em risco, como redes viárias, estações de abastecimento de água, edifícios públicos, habitações, comércio, unidades fabris, património cultural e natural e outras. O número de pessoas afectadas é discriminado por freguesia.

Os dados foram recolhidos através do histórico das cheias de cada zona, e ainda através da análise de cartas militares (1:25 000) e de observações no terreno (Guedes,2001).



Imagem obtida em Oliveira do Bairro, 2002.

### **Concelho de Águeda**

A parte litoral é constituída por zonas baixas, cuja cota raramente ultrapassa os 100 m, correspondendo à junção dos rios Vouga, Águeda, Alfusqueiro e Cértima, formando um vale que antecede a Ria de Aveiro, da qual a Pateira de Fermentelos é o primeiro vestígio. Neste Concelho, as áreas vulneráveis a inundações concentram-se nas zonas ribeirinhas da Cidade de Águeda e povoações marginais aos Rios Águeda e Vouga. Esta situação agrava-se com a ocupação de zonas pertencentes aos leitos de cheia, e ainda com a ocorrência simultânea de marés e ventos fortes de Sudoeste que impedem o escoamento em direcção ao mar.

As zonas do Concelho consideradas de **maior risco** são a parte ribeirinha da Cidade de Águeda e as Freguesias de Recardães, Óis da Ribeira, Macinhata do Vouga, Segadães, Aguada de Baixo, Espinhel e Fermentelos.

### **Concelho de Albergaria a Velha**

A rede hidrográfica do município, a Sul e Oeste, na maior parte do seu curso, constitui o limite natural entre o Concelho de Albergaria a Velha e os de Sever do Vouga, Águeda e Aveiro. O curso de água mais importante é o Rio Caima, afluente do Vouga, atravessando o Concelho numa extensão de 16 km, com uma importante bacia de drenagem. Existem ainda dois outros cursos de água de menor dimensão, o Rio Fílveda, afluente do Caima, e a Ribeira do Fontão, afluente à direita do Vouga.

Em Albergaria a Velha, as zonas de maior vulnerabilidade às inundações dizem respeito à bacia hidrográfica do Rio Caima (Freguesia de Vale Maior) e do Rio Vouga (Freguesias de Alquerubim, S. João de Loure, Frossos e Angeja).

### **Concelho de Anadia**

O curso de água mais importante deste Município é o Rio Cértima, afluente do Vouga, localizado a este da Vila de Sangalhos. Existe ainda o Rio Serra, afluente do Cértima. As zonas de risco possível de inundação localizam-se ao longo das margens do Cértima, nas seguintes freguesias :

- Sangalhos
- Mogofores
- Aguim
- Tamengos

### **Concelho de Aveiro**

Os incidentes hidrográficos de maior dimensão são o Rio Vouga e afluentes e a Ria de Aveiro. Esta cobre uma área total de 11 000 ha, sendo cerca de 6000 ha permanentemente submersos. Tem um comprimento de 45 km e largura máxima de 8,5 km – é o maior incidente lagunar da Península Ibérica. A zona lagunar ocupa cerca de um terço do território do município. As zonas mais afectadas por potenciais cheias/inundações são as seguintes:

- Freguesia de Requeixo (Rio Águeda, Pateira de Fermentelos)
- Freguesia de Eirol ( Rio Águeda e Vouga)
- Freguesia de Eixo ( Rio Vouga)
- Freguesia de Esgueira (Rio Vouga)
- Freguesia de Cacia (Rio Vouga, Ria de Aveiro)
- Freguesia de S. Jacinto (influência da Ria, fluxos de maré)
- Freguesia de Vera Cruz (influência da Ria, fluxos de maré)
- Freguesia da Glória (influência da Ria, fluxos de maré)

### **Concelho de Estarreja**

As zonas de maior vulnerabilidade em relação a inundações /cheias são as áreas de influência da Ribeira de Fontela e Ribeira de Gonde (Freguesia de

Avanca) e junto ao Rio Antuã (Freguesias de Beduído, Salreu, Canelas e Fermelã).

### **Concelho de Ílhavo**

As zonas de maior vulnerabilidade as situadas na proximidade da Ria de Aveiro e da zona costeira, devido à possibilidade de transgressões/regressões de mar. As zonas mais vulneráveis localizam-se nas seguintes freguesias :

- S. Salvador: influência da Ria de Aveiro
- Gafanha da Encarnação: influência do mar/Ria
- Gafanha da Nazaré: influência do mar

### **Concelho de Mealhada**

A parte Sul do Município integra-se na Bacia Hidrográfica do Rio Mondego (Freguesia de Barcouço), representando cerca de 20 % da área total do Concelho. Os restantes 80 % integram-se na Bacia do Rio Cértima (Bacia Hidrográfica do Rio Vouga), sendo aí que se localizam os locais mais vulneráveis à ocorrência potencial de inundações. Deste modo, consideram-se como afectadas pelo risco de cheia as zonas de:

- Freguesia da Mealhada: Vila da Mealhada, na área compreendida entre a EN 1 e a linha do Caminho de Ferro abrangendo a Av. 25 de Abril ; limite entre as Freguesias de Antes e Casal Comba , no leito de cheia do Rio Cértima entre o acesso à Auto – Estrada 1 (Sul) e a estrada Sernadelo – Antes. Sernadelo, a poente da Linha do Norte
- Freguesia de Casal Comba: desde Viadouros até ao aceso à A1 e a Norte deste acesso até à freguesia da Mealhada
- Freguesia da Pampilhosa: estrada da Pampilhosa-Larçã (Este) e sítio do Tapadinho (Oeste) até à Linha do Norte; estação de caminhos de ferro da Pampilhosa; estrada Pampilhosa/Viadouros até às pontes da EN1/IC2.
- Freguesia da Vacariça: por influência da Ribeira da Vacariça

- Freguesia do Luso: no caso de ruptura da Represa de Santa Cristina

### **Concelho de Murtosa**

Os locais potencialmente mais afectados (devido à influência da Ria de Aveiro) são os seguintes :

- Freguesia do Bunheiro: os lugares do Celeiro, e da Breja de Baixo
- Freguesia da Murtosa: Pardelhas, Murtosa, Bestida, S.Silvestre, Mama Parda
- Freguesia da Torreira: Quintas do Norte e do Sul, Praia da Torreira (transgressões e regressões de mar)

### **Concelho de Oliveira de Azeméis**

Zonas de maior vulnerabilidade em relação a potenciais cheias/inundações: Freguesias de Ossela e Palmaz (Rio Caima) e Freguesia de UI (Rio Antuã).

Acrescentes-se ainda o troço de influência da eventual rotura da Barragem Eng.º Duarte Pacheco (Vale de Cambra) – afecta o Concelho nas Freguesias de Ossela e Palmaz.

### **Concelho de Oliveira do Bairro**

As zonas mais vulneráveis são as de influência do Rio Cértima e da Pateira de Fermentelos: Perrães, Amoreira do Repolão (Sr.<sup>a</sup> dos Milagres e Fonte da Oleira), Murta, todas na freguesia de Oliveira do Bairro; as influenciadas pelo Rio Levira (Monte Longo da Areia, freguesia do Troviscal) e a zona da Ribeira do Pano ( freguesia de Oiã).

### **Concelho de Ovar**

Consideram-se como zonas vulneráveis à inundações as seguintes :

- Freguesia de Válega: Roçadas de Espinho (influência do Rio Negro – afluente do Rio Gonde);
- Freguesia de Ovar: Torrão do Lameiro , na Zona da Marinha (fluxos de maré da Ria de Aveiro);

- Freguesia de Esmoriz: Barrinha (encerramento do escoamento para o mar) e Praia de Esmoriz (transgressões e regressões de mar).

### **Concelho de Santa Maria da Feira**

No Concelho sente-se a influência de duas bacias hidrográficas: Douro e Vouga. As zonas potencialmente afectadas por inundações são as seguintes :

- Freguesia de Nogueira da Regedoura : os lugares de Pousadela e Olivães, por insuficiência de encaixe hídrico de diversos cursos de água de pequena dimensão.
- Freguesia de Milheirós de Poiares : no caso de rebentamento de uma represa no Rio Antuã, localizada entre Espadanal e Travessas.
- Freguesia de Canedo: em Porto Carvoeiro, no caso de uma rotura nas barragens a montante, nos Rios Tâmega e Douro, ou em caso de cheia deste último.

### **Concelho de S. João da Madeira**

A zona potencialmente vulnerável a inundações localiza-se na Freguesia de S. João da Madeira (única freguesia do Concelho), em Travessas, sendo o risco devido ao potencial rebentamento de uma represa construída no Rio Antuã, entre Espadanal e Travessas.

### **Concelho de Sever de Vouga**

O Concelho está inserido na Bacia Hidrográfica do Vouga , cujo percurso no município se estende por 19 km. As zonas onde existe um risco potencial de inundação/cheia localizam-se na freguesia de Pessegueiro do Vouga.

## **Concelho de Vagos**

Em Vagos o incidente hidrográfico mais importante é a Ria de Aveiro (Braço da Gafanha), sendo ainda de assinalar o Rio Boco, que desagua nesta. Faz igualmente parte da Bacia Hidrográfica do Vouga. As áreas de maior vulnerabilidade em termos de cheia são as seguintes :

- Freguesia de Ouca ( zona de Agra), por cheia do rio Boco.
- Freguesia de Covão do Lobo ( Fonte de Rei), por cheia das Lagoas do Moitão e da Jिंगosa ( Ribeira da Presa Velha)
- Freguesia de Fonte de Angeão ( Fonte da Costa) , por cheia da Ribeira da Presa Velha.
- Freguesia de Sôsa ( Molareira, Fojo e Fareja), por cheia do Rio Boco
- Freguesia de Ponte de Vagos ( Pardeiros), por cheia da Ribeira da Presa Velha.
- Freguesia de Vagos ( Ponte de Água Fria e Cais do Moliço) ( por efeito de maré na Ria de Aveiro)
- Freguesia de Ponte de Vagos ( Pardeiros), por cheia da Ribeira da Presa Velha

## **Concelho de Vale de Cambra**

O Concelho está integrado nas Bacias do Mondego e Vouga, sendo atravessado por três rios principais :

- Arões
- Caima ( divide o concelho em duas partes Norte e Sul)
- Teixeira ( separa os concelhos de Vale de Cambra e Oliveira de Frades).

As zonas ameaçadas por cheia encontram-se ao longo dos Rios Caima e na Ribeira de Viques. A possível rotura da Barragem Engenheiro Duarte Pacheco afectaria toda a Freguesia de Vila Chã.

### **6.2. Mapeamento dos Riscos**

As zonas determinadas como inundáveis através da combinação dos registos históricos e da modelação hidrológica deverão ser geo-

referenciadas e cartografadas, de modo a obter um mapeamento adequado do risco de inundação em função das cotas (Rego, 1999). Era intenção deste trabalho proceder a essa tarefa, que contudo, por dificuldades várias, não houve possibilidade de executar. Contudo, a informação disponível irá brevemente ser carregada no sistema da protecção civil distrital através de um programa de SIG, a integrar futuramente no Projecto “Protecção Civil Digital”, que teve o seu início em Março deste ano, através de um primeiro módulo de gestão de ocorrências, que já possibilita a geo-referenciação.

### **6.3. Planeamento da Evacuação**

#### 6.3.1 Enquadramento

Delimitadas as zonas de maior risco potencial relativamente a uma situação de inundação, importa agora estabelecer as formas de preservar vidas e bens, na ocorrência efectiva desta. A elaboração de Planos de Evacuação deve dar resposta a esta questão. Estabelecendo princípios e sistematizando os meios e métodos de acção, como forma de diminuir as perdas em vidas humanas, o Plano deve ser um instrumento flexível e em constante evolução, utilizado pelo sistema de protecção civil para cumprir uma missão: retirar para a segurança o maior número de pessoas, no menor espaço de tempo, evitando situações de pânico.

#### 6.3.2 Elaboração dos Planos

A elaboração de um plano de emergência de protecção civil obriga a que existam uma série de estudos preliminares relativamente ao risco/situação de emergência considerados. Nestes estudos caracteriza-se o risco em causa, a ocupação sócio-económica da área afectada e traçam-se depois cenários de emergência mais prováveis. A partir destes cenários desenham-se formas de actuação para minimizar o incidente, atenuar os seus efeitos e socorrer as pessoas/bens em perigo.

Para a prossecução destes objectivos, são atribuídas missões a cada entidade/agente de protecção civil, consoante as suas competências e o âmbito territorial onde se desenrola a situação. Empenhadas nestas

missões encontram-se meios (materiais) e recursos (humanos), igualmente específicos de cada escalão territorial e entidade. O Plano estabelece igualmente a coordenação entre todos os elementos envolvidos e a unidade de direcção (Dirección General de Protección Civil, 1983; Teixeira, 1988).

No caso específico de um Plano de Evacuação relativo a inundações o primeiro passo será, conforme visto, a delimitação das zonas potencialmente inundáveis, para que se possa avaliar a sua extensão e localização com o rigor possível. Em seguida, há que proceder ao estudo sócio- económico da área a considerar, pois são essas populações que importa proteger. Aqui além da população residente, deve incluir-se a flutuante, bem como as variações sazonais e a distribuição pelas diferentes zonas dentro da área de risco. Importa ainda saber a sua composição em termos de grupos etários e a localização de certas estruturas de maior vulnerabilidade (escolas, lares de idosos ou deficientes, hospitais, prisões) pois esta população apresenta maior vulnerabilidade em situações de emergência e precisará de assistência particular na evacuação.

### 6.3.3 Evacuação

Dependendo da amplitude do acontecimento que origina a necessidade de evacuação, o comando das operações será organizado sucessivamente :

- A nível do **Serviço Municipal de Protecção Civil**, quando a evacuação se faz na área restrita do município e os seus meios próprios são considerados suficientes. Compete a este dirigir as evacuações para uma ou mais Zonas de Reunião e organizar, se tal for considerado necessário, o seguimento à Zona de Concentração e Irradiação.
- A nível do **Serviço Distrital de Protecção Civil** quando os meios do município se mostram insuficientes, ou quando está envolvido mais de que um município na situação de inundação. Ao Serviço Distrital

compete ainda a direcção e coordenação das evacuações de uma ou mais Zonas de Reunião para a Zona de Concentração e Irradiação, prestar assistência às pessoas enquanto aí permanecerem e colocá-las em condições de embarque para o exterior destas, se tal vier a concretizar-se.

- Ao Serviço Nacional de Protecção Civil compete a direcção e o controle de evacuações das ZCI para o exterior, ou de quaisquer operações que transcendam a capacidade dos Serviços Distritais, e ainda a colaboração dos meios necessários para todas as acções, que não possam ser movimentados através de um escalão inferior.

Na iminência de uma inundação, e caso a situação o justifique, será emitido pelos serviços de protecção civil um **aviso** às populações afectadas. De imediato, estas deverão dirigir-se às **Zonas de Reunião (ZR)** previamente fixadas. Estas deverão ser escolhidas em locais desafogados, com espaço suficiente para a concentração das pessoas, afastadas da zona inundável e com bons acessos. É da máxima importância que seja dado conhecimento à população qual o sistema de alarme escolhido (avisos sonoros, altifalantes, porta à porta) e complementá-lo através de outros (emissão de avisos através das rádios locais ou porta à porta, se necessário).

Prevendo a necessidade de reter, aguardando melhores condições de regresso, ou mesmo de evacuar, para mais longe, as pessoas de uma ou mais áreas de risco, será necessário definir outras zonas na periferia da cidade (ou povoação) onde aquelas possam ser concentradas e de onde possam irradiar para as regiões de destino final. Estas zonas, designadas por **Zonas de Concentração e Irradiação (ZCI)** servem para acolher e assistir as pessoas vindas das Zonas de Reunião e para as colocar em condições de, se necessário, as fazer irradiar para os pontos de destino. As suas características devem ser idênticas às das Zonas de Reunião em termos de segurança, acessibilidade e espaço. Devem estar ainda, se possível, atendendo aos riscos, localizadas nas proximidades das vias de

comunicação (estradas, aeroportos, caminhos de ferro, portos) para facilitar o transporte (Teixeira, 1988).

Estabelecidas as zonas de reunião e concentração, há que delinear os **itinerários de evacuação**.

Entre o local de risco de inundação onde as pessoas se encontram e o local de primeira reunião as deslocações serão feitas maioritariamente a pé ou em viatura própria, pela sua própria iniciativa, após o aviso das autoridades, pelo que não fará sentido fixar previamente, com grande rigidez, os caminhos a seguir. As populações deverão ter o conhecimento das zonas que são seguras em relação ao perigo de inundação e procurar alcançá-las rapidamente. Competirá às autoridades locais, assim que for accionado o alerta de cheia ao sistema de protecção civil, cortar o trânsito nas vias que conduzam a zonas inundadas, ou que estejam, elas próprias, inundadas ou na iminência de o ser. Deverão igualmente ser sinalizadas as vias que conduzem à zona de segurança.

Entre as Zonas de Reunião e as Zonas de Concentração Imediata, os itinerários devem ser estudados antecipadamente, pois neles irão transitar os meios auto destinados a assegurar os transportes entre as duas. Estes itinerários devem obedecer ao condicionamento fundamental de garantir a maior rapidez nos percursos, de modo a poder retirar das ZR, próximas dos locais de risco, o máximo de pessoas para as ZCI, de mais elevada segurança. Devem pois ser escolhidas as vias mais directas, ainda que assegurando que não ficarão obstruídas pela inundação. Deve prestar-se especial atenção a factores como a largura da via, declives, estado do piso e existência de estruturas que possam constituir perigo (p.ex.: derrocadas). Deverão igualmente ser escolhidos (sempre que possível) itinerários alternativos, pelo menos nos pontos mais críticos, de modo a contribuir para uma maior fluidez do tráfego. Os movimentos de retorno de viaturas poderão ser organizados de modo a utilizar estas vias, evitando congestionamentos nos itinerários principais.



Exemplo de vias interrompidas por inundação: Ribeira da Graça, Ovar, Março de 2001.

#### 6.3.3.1. Normas a seguir nos movimentos das populações

- Os movimentos de populações desde os domicílios ou locais de trabalho para as Zonas de Reunião são feitos por meios próprios, excepto em casos de incapacidade (deficientes, idosos, crianças pequenas, doentes)
- Os movimentos entre as Zonas de Reunião (ZR) e as Zonas de Concentração e Irradiação (ZCI) são feitos em transportes colectivos.
- Os movimentos a partir das Zonas de Concentração e Irradiação (ZCI) para fora da zona urbana, se necessários, serão feitos em autocarros, comboios e, eventualmente, por via aérea.
- As pessoas não devem ser evacuadas mais do que o estritamente necessário : se ficam em segurança nas ZR não devem seguir para as ZCI e, por sua vez, se ficam em segurança nas ZCI, não devem ser evacuadas para fora da cidade ou povoação. Esta regra aplica-se também a feridos ou doentes, desde que haja locais de tratamento adequado.
- Nos movimentos de evacuação as pessoas utilizando viatura própria poderão, de acordo com as circunstâncias, ser autorizadas a utilizar

os Itinerários Principais de Evacuação (IPEv) mas somente em movimento directo. A sua utilização em sentido inverso será reservada às viaturas de transportes colectivas empenhadas na evacuação e a outras viaturas de socorro.

- Os habitantes das zonas de risco devem conhecer as Zonas de Reunião a que se podem dirigir de imediato, estudar eles próprios o melhor caminho para o atingir e ter montado em suas casas um esquema que lhes permita abandoná-las rapidamente, transportando consigo haveres indispensáveis.
- Nestes movimentos, deverão ser instalados rapidamente Postos de Controle de Tráfego (PCT), nos pontos críticos ao longo do IPEV, Postos de Recepção e Acolhimento (PRA) de pessoas evacuadas (na ZCI, de modo a organizar os diferentes grupos e a prover às suas necessidades básicas), Postos Reguladores de Evacuação (PRE), estes destinados a organizar e colocar as pessoas em condições de serem transportadas para a ZCI ou para fora da cidade, a partir destas, quando aconselhável.
- Na organização da ZCI, deverá atender-se, dentro do possível, à manutenção dos laços de vizinhança e amizade. Na transferência de populações, deverá organizar-se a nova zona em moldes tão semelhantes quanto possível aos da zona antiga, mesmo tratando-se de instalações provisórias. Tal contribuirá para minorar a natural desorientação e *stress* provocado pelo episódio nos evacuados.
- Em cada Zona de Reunião deverá ser estabelecido um órgão coordenador e, eventualmente, um Posto de Socorro.
- Nas ZCI deverão ser estabelecidos, para além dos PRA e PRE já mencionados : depósitos e locais de reabastecimento de bens essenciais (água, alimentos, agasalhos, combustível, etc.); um ou mais Postos de Socorro, de acordo com o efectivo das populações a receber, o Comando Regulador de Movimentos e, se necessário, um Posto de Comando Avançado do serviço distrital.

### 6.3.3.2. Cálculo dos meios

O cálculo dos meios necessários à operação de evacuação depende de vários factores. O factor chave é o número total de pessoas a evacuar, mas existem outros aos quais se deverá atender, nomeadamente :

- As necessidades em viaturas, estimadas de acordo com as lotações, os itinerários, as prioridades estabelecidas na evacuação e o seu faseamento.
- As necessidades em maquinaria pesada, destinada à desobstrução imediata de locais críticos e de zonas para o seu estacionamento
- As necessidades em Comandos Reguladores de Movimento (controle do tráfego) para guarnecer as Zonas de Reunião e as Zonas de Concentração e Irradiação
- A indicação dos pontos críticos intermédios a guarnecer com Postos de Controle de Tráfego
- As necessidades de reabastecimento (alimentos, água, agasalhos, roupas), de tratamento (feridos, doentes, deficientes), de higiene e outros serviços técnicos, e ainda combustível para as viaturas empenhadas na evacuação e assistência.
- As necessidades de telecomunicações (postos fixos e móveis), especificamente nas ZR, nas ZCI, nos postos de controle de tráfego (PCT), nos Postos de Comando Avançado e nos Posto de Comando dos vários escalões da Protecção Civil. Deverá utilizar-se sempre que possível o telefone (desde que a própria inundação não afecte a rede telefónica), ou o rádio (devem estar pré determinadas as várias redes e as suas frequências, bem como os indicativos dos postos e as instruções necessárias ao funcionamento das transmissões).
- As necessidades em meios humanos para acorrer ao socorro e assistência das populações evacuadas. Estes deverão ser mobilizados através dos escalões de comando definidos para cada nível de alerta (municipal, distrital e nacional) e disponibilizados pelas diversas entidades e Agentes de Protecção Civil, nomeadamente: Forças de

Segurança, Forças Armadas, Bombeiros, Cruz Vermelha, Escoteiros, e Radioamadores (Teixeira, 1988).

**Tabela 6.1– Organização dos Escalões da Protecção Civil em função do nível de alerta**

Nível de Alerta	Situação	Serviço Municipal	Serviço Distrital
<b>Azul</b>	Normal	<p>Activa uma célula de acompanhamento da situação.</p> <p>Mantém o CDOS informado da situação.</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil municipal informado da situação.</p> <p>Promove a informação pública nos OCS locais e regionais</p> <p>Mantém o Presidente da Câmara informado da situação</p>	<p>Mantém o CENOP informado da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil distrital informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS regionais e locais</p> <p>Mantém o Governador Civil informado da situação</p>
<b>Amarelo</b>	Situação que configura condições para a ocorrência de uma cheia	<p>Activa/Reforça uma célula de acompanhamento da situação</p> <p>Mantém a CDOS informado da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil municipal informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS locais e regionais</p> <p>Mantém o Presidente da Câmara informado da situação</p>	<p>Activa uma célula de acompanhamento da situação</p> <p>Mantém o CENOP informado da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil distrital informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS regionais e locais</p> <p>Mantém o Governador Civil informado da situação</p>

Nível de Alerta	Situação	Serviço Municipal	Serviço Distrital
<b>Laranja</b>	Situação que configura condições de elevada probabilidade de ocorrência de uma cheia	<p>Activa uma célula de resposta</p> <p>Prepara a activação do CMOEPC</p> <p>Prepara-se para activar o PME</p> <p>Mantém a CDOS informada da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil municipal informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS locais e regionais</p> <p>Mantém o Presidente da Câmara informado da situação</p>	<p>Activa uma célula de resposta</p> <p>Prepara a activação do CDOEPC</p> <p>Prepara a activação do PDE</p> <p>Mantém o CENOP informado da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil distrital informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS regionais e locais</p> <p>Mantém o Governador Civil informado da situação</p>
<b>Vermelho</b>	Situação que configura condições de elevada probabilidade de ocorrência de uma cheia ou situação declarada de cheia	<p>Reforça a célula de resposta</p> <p>Activa o CMOEPC</p> <p>Activa o PME</p> <p>Mantém o CDOS informado da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil municipal informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS locais e regionais</p> <p>Mantém o Presidente da Câmara informado da situação</p>	<p>Reforça a célula de resposta</p> <p>Activa o CDOEPC</p> <p>Activa o PDE</p> <p>Mantém o CENOP informado da situação</p> <p>Mantém o sistema de protecção civil distrital informado da situação</p> <p>Promove a informação pública nos OCS locais e regionais</p> <p>Mantém o Governador Civil informado da situação</p>

Fonte: Adaptação das Directrizes para o Plano Especial de Cheias e Inundações. SNPC/DDPC Porto, 2000 (com as alterações legislativas e de nomenclatura actualmente em vigor).

***Secção II – Modelização do Regime Hidrológico: contribuição para a  
previsão dos níveis de cheia em zonas críticas***

## **7. A modelação hidrológica: prever o futuro ?**

### ***7.1. A modelação do risco associado às cheias***

A ideia de utilizar modelos matemáticos para tentar prever o comportamento de fenómenos naturais tem sido uma das aplicações mais fascinantes dos novos ramos da ciência. Com efeito, a modelação matemática poderá ajudar a fazer, de forma rápida e objectiva, a avaliação de risco e a identificação de áreas críticas onde uma intervenção adequada poderá reduzir esse risco para a população e o ambiente, através de medidas apropriadas (ver secção I, capítulo 5.4). Ao mesmo tempo, modelos que funcionem em tempo real poderão ser ferramentas válidas para a parte operacional da emergência, fornecendo elementos para o alerta e aviso às entidades responsáveis pela segurança das populações.

A essência da aplicação da modelação consiste fundamentalmente em fazer uma previsão de determinadas situações antes da sua ocorrência efectiva. Deste modo, é uma excelente abordagem no estudo de fenómenos extremos, como as cheias. Mas se a própria excepcionalidade destes eventos os coloca fora da escala da experiência do dia a dia, que confiança poderemos ter nos modelos? Como proceder à sua calibração?

Um modelo é, antes de tudo, uma abordagem do real, uma interpretação simplificada da realidade, com todas as limitações que tal facto implica. Deste modo, se basearmos um modelo somente nas observações existentes das entradas e saídas do sistema, em condições conhecidas, sendo os resultados obtidos para as ditas “condições extremas”, como o são as cheias, baseados somente na extrapolação desses valores, não existirá uma base teórica para validar os resultados.

Contudo, se conseguirmos representar no modelo todos os processos hidrológicos e hidrodinâmicos que se processam na realidade dentro desse sistema, então os resultados obtidos terão uma base sólida onde se poderão enquadrar, sendo possível aferir da sua validade e adequação à realidade que procuram simular (Fortune, 2001).

## 7.2. O modelo HEC –HMS

O “Sistema de Modelação Hidrológica” (Hydrological Modelling System), abreviadamente HMS, simula os processos de precipitação e escoamento superficial em bacias hidrográficas dendríticas. Desenvolvido pelo “US Army Corps of Engineers Hydrological Engineering Center” (HEC) em 2001, é um *software* de domínio público. Esta versão (2.1) sucede à anterior HEC–1 Flood Hydrograph Package, representando um avanço significativo em relação a esta, tanto na área hidrológica como computacional.

Concebido para ser aplicável num espectro diversificado de áreas geográficas, o HEC-HMS 2.1 procura dar resposta a diferentes tipos de problemas, incluindo o abastecimento de água, cheias e escoamento superficial em pequenas bacias urbanas ou naturais. Os hidrogramas produzidos pelo modelo de simulação podem ser usados directamente, ou em conjunto com outras aplicações informáticas, para estudos de disponibilidade de recursos hídricos, escoamento de águas pluviais, previsão de escoamentos, impactos associados a futuras urbanizações, redução de perdas associadas a inundações, ordenamento da ocupação do território em zonas inundáveis e operação de sistemas/infra-estruturas hidráulicas.

O programa em si consiste num ambiente de trabalho integrado, que compreende uma base de dados, ferramentas para introdução de dados, cálculo computacional e visualização de resultados. Tudo isto se encontra contido num interface gráfico que permite a análise dos diversos componentes, o armazenamento e gestão de dados e a criação de gráficos e relatórios. Apesar de se encontrarem num único programa executável, existe uma separação clara entre o interface com o utilizador, o modelo de simulação e a base de dados.

Neste estudo, procurou aplicar-se o HEC-HMS ao caso particular da bacia do Águeda, sendo a metodologia utilizada e os resultados obtidos discutidos nos capítulos subsequentes.

### **7.3. Aplicação ao caso da Bacia do Rio Águeda**

O comportamento de uma bacia hidrográfica face ao regime de precipitação/escoamento depende, em grande parte, das suas características fisiográficas e geométricas. Assim, através do estudo destas e conhecendo algumas variáveis meteorológicas, poderá ser possível tentar prever a resposta a determinadas situações, nomeadamente aquando da ocorrência de quantidades anormais de precipitação.

No caso dos sistemas hidrológicos superficiais a entrada de massa (precipitação) e a saída (escoamento de água e caudal sólido) dão-se através das respectivas fronteiras. Os sistemas são, em geral, não estacionários, porque existem variações temporais dos parâmetros físicos que condicionam o seu comportamento dinâmico.

Alguns destes factores, como por exemplo, a água do solo, permeabilidade do solo, e até certo ponto, a rugosidade da superfície podem variar em pequenos intervalos de tempo. No entanto, as propriedades morfológicas, tais como dimensões do aquífero e topografia só podem ser consideradas variáveis em relação ao “tempo geológico”, pelo que se tratam como constantes.

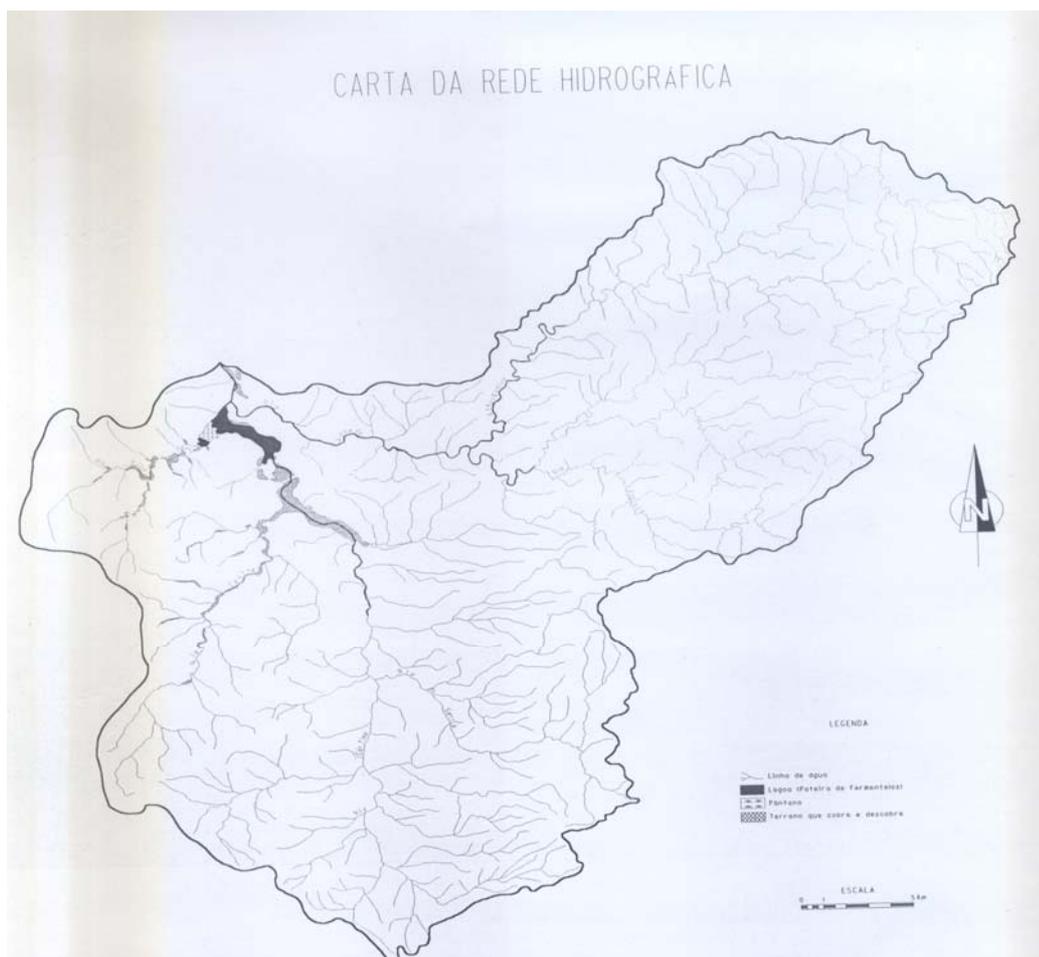
Existe assim uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e as características fisiográficas e geométricas de uma bacia hidrográfica, sendo então possível estabelecer relações entre estes parâmetros, numa dada bacia, e o comportamento hidrológico de outras bacias. Desta forma, é possível determinar indirectamente valores hidrológicos em determinadas secções onde não existem dados de observações reais (Faria & Machado, 1976).

#### **7.3.1 Breve caracterização da bacia**

A Bacia Hidrográfica do Rio Águeda ocupa os concelhos de Águeda, Anadia, Mealhada e Oliveira do Bairro (Distrito de Aveiro). Possui uma área

total de 975 km<sup>2</sup>, sendo limitada a norte pela Bacia Hidrográfica do Vouga<sup>13</sup> e a Sul pela do Mondego.

**Figura 7.1 – Bacia Hidrográfica do Águeda, elaborada a partir do traçado das linhas de água à escala 1:100000 da carta corográfica de Portugal (adaptado de Ribeiro dos Reis, 2000)**



O percurso do rio Águeda (principal afluente do Vouga) estende-se por cerca de 71 km, com sentido geral Leste Oeste, resultando da junção dos rios Alfusqueiro e Agadão (margem direita), que descem da Serra do Caramulo. Mais tarde junta-se-lhe o Rio Cértima (margem esquerda), através da Pateira de Fermentelos. Este nasce na Serra do Buçaco, correndo, curiosamente, de Sul para Norte. O declive médio do Águeda é

<sup>13</sup> Esta divisão surge pela necessidade de individualizar os limites da Sub-Bacia, uma vez que esta se encontra na realidade contida na Bacia Hidrográfica do Rio Vouga.

de 1.5%, apresentando inclinações médias de 4% na zona de cabeceira e de 0.06% a jusante da confluência com o Alfusqueiro.

A altitude máxima da bacia é de 1100 m, sendo a mínima de 4, na zona de confluência com o Vouga. O declive é muito diversificado, apresentando valores de 40% nas zonas de cabeceira e um valor médio de 8%. As zonas de cabeceira situadas a este, a montante da cidade de Águeda, são as que apresentam maior altitude, contribuindo, pela sua morfologia, para a intensificação da precipitação.

(FBO *et al.*, 1999; Ribeiro dos Reis, 2000; Jorge *et al.*, 2002).

### 7.3.2 Características fisiográficas e geométricas

Apresentam-se de seguida algumas características geométricas das bacias hidrográficas que, de acordo com o atrás exposto, contribuem para o conhecimento do seu comportamento hidrológico. Foram também calculados os valores de diversos índices que relacionam as diferentes características geométricas entre si, para a bacia do Águeda e das sub-bacias do Alfusqueiro e Cértima, e ainda para a bacia do Vouga, sendo os resultados apresentados nas tabelas 7.1 e 7.2.

**Tabela 7.1– Características Geométricas das bacias consideradas**

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (km)</b>	<b>Comprimento do rio principal (Km)</b>
<b>Vouga</b>	2425	300	115
<b>Águeda</b>	975	219	71
<b>Cértima</b>	543	107	43
<b>Alfusqueiro</b>	198	76	51

### 7.3.2.1. Relação entre as características geométricas da bacia

#### Área de Drenagem

Representa a projecção horizontal da área limitada pela linha de separação topográfica, cuja medida corresponde ao perímetro da bacia (Ribeiro dos Reis, 2000; Siilva, 1994).

#### Forma da bacia

A forma de uma bacia define-se como a forma da curva horizontal resultante da projecção da fronteira da bacia sobre um plano horizontal. A área envolvida por esta curva designa-se por “área da bacia” (Faria & Machado, 1976; Silva, 1994).

A forma equivalente de uma bacia é representada pela forma geométrica regular que mais se assemelha à forma da bacia (circunferência, rectângulo, segmento de parábola e triângulo).

No caso de bacias com formas geométricas semelhantes, o quociente da área da bacia (S) pelo comprimento da bacia ( $L_r$ ) deve ser constante:  **$S/L_r = \text{constante}$** .

O “comprimento da bacia” é, em regra, medido ao longo do “rio principal” da bacia. Na literatura da especialidade, encontra-se a relação:

$$L_r = 1.35 S^{0.568} \quad L_r \text{ em Km e } S \text{ em Km}^2$$

Esta expressão assume a forma  $S/L_r^2 \approx \frac{1}{2} S^{-0.136}$  que mostra que quando a área aumenta, o valor de  $S/L_r^2$  diminui, isto é, há uma tendência para que as grandes bacias tenham uma forma alongada. A forma de uma bacia é importante no estudo do seu comportamento hidrológico, nomeadamente na determinação do tempo de concentração.

#### Índice de compacidade

Existem alguns índices que procuram caracterizar a forma das bacias, relacionando-as com formas geométricas regulares. Um dos mais

utilizados é o **índice de compacidade ou de Gravelius**. Este define-se pela expressão:

$$K_C = P / 2\pi r = \sqrt{\pi / 2\pi}$$

$$P/\sqrt{S} = 0.28 P/\sqrt{s}$$

**$K_C = 0.28 P/\sqrt{S}$**  em que P = perímetro da bacia

S = área da bacia

r = raio do círculo com mesma área da bacia

Uma vez que, para a mesma área, o círculo é a figura com menor perímetro, o valor de  $K_C$  será maior que a unidade, só sendo igual a esta se a bacia for um círculo. Este índice é um valor adimensional, que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho. O valor mínimo de  $K_C$  é 1 e corresponderia a uma bacia perfeitamente circular. Se os outros factores forem iguais, a tendência para maiores inundações é tanto maior quanto mais próximo da unidade for o valor de  $K_C$ . Quanto menor for o índice, mais a bacia se aproxima da forma circular e maior é a sua compacidade (Faria & Machado, 1976; Silva 1994; Ribeiro dos Reis, 2000).

Por norma, consideram-se que os valores de  $K_C$  inferiores a 1.60 correspondem a bacias compactas.

No caso da bacia do Águeda, tem-se  **$K_C = 1.96$** , indicando estarmos em presença de uma bacia pouco compacta.

### **Factor de forma**

O factor de forma obtém-se dividindo a largura média da bacia pelo comprimento da bacia medido ao longo do rio principal, desde a foz até à nascente.

$$K_f = S/L_r^2 \text{ onde}$$

$K_f$  - factor de forma

$L_r$  - comprimento do rio principal

S – área da bacia

O factor de forma constitui outro índice da maior ou menor tendência para haver inundações numa bacia. Assim, uma bacia com um pequeno valor de factor de forma está menos sujeita a enchentes que outra com maiores valores, porque numa bacia estreita e longa há menos possibilidades de ocorrência de precipitação intensa cobrindo simultaneamente toda a sua extensão. No caso ideal de uma bacia ter a forma quadrada o valor de  $K_f$  será 1.

No caso do Águeda tem-se  $K_f = 975/(71^2) = 0.17$ , o que indica que a bacia está pouco sujeita a enchentes.

### **Quociente de alongamento**

A descrição da forma da bacia pode fazer-se utilizando o quociente de alongamento:

$$R_a = 2r/L_r = 1/L_r (4/\pi s)^{1/2}$$

Os valores de  $R_a$  parecem estar relacionados com o relevo da bacia. Os valores próximos da unidade são típicos de regiões de fraco relevo, ao passo que resultados a partir de 0.6/0.8 são próprios de bacias de grande declive e altos relevos. No caso da bacia do Águeda:

$$R_a = 0.39$$

Estamos assim em presença de uma bacia em que há troços de grande declive. O declive dos terrenos de uma bacia controla a velocidade do escoamento superficial, afectando o intervalo de tempo necessário para que a precipitação se concentre no leito do rio (COBA,1975;Faria Machado, 1976).

### Índice de Lemniscato

Este índice compara a forma da bacia com uma curva lemniscata (em forma de oito), sendo a relação entre o comprimento da bacia e a área, multiplicada por 4 :

$$K = L^2/4S$$

em que

K = coeficiente de compacidade

L = comprimento da bacia (Km)

S = área da bacia (Km<sup>2</sup>)

**Tabela 7.2 – Índices comparativos para as bacias consideradas**

Bacia Hidrográfica	Índice de Gravelius K <sub>C</sub>	Factor de Forma K <sub>f</sub>	Quociente de Alongamento R <sub>a</sub>	Índice de Lemniscato K
Vouga	1.70	0.183	0.48	1.36
Águeda	1.96	0.17	0.39	1.44
Cértima	1.29	0.29	0.60	0.85
Alfusqueiro	1.55	0.076	0.31	3.28

#### 7.3.2.2. Relevo

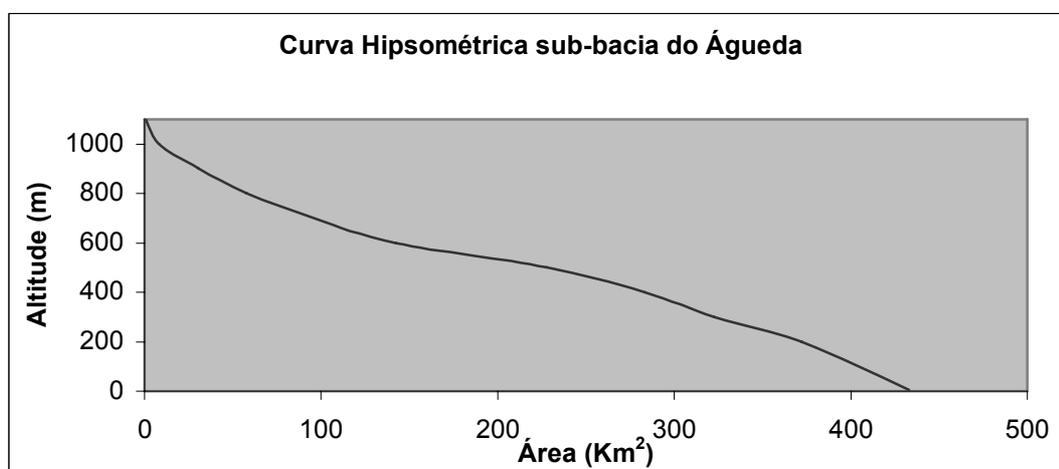
O relevo de uma bacia hidrográfica influencia decisivamente o regime hidrológico e climatológico da mesma. Além da acção da altitude, o relevo tem uma acção dinâmica importante, sobretudo quando as linhas de altitude se apresentam orientadas normalmente à direcção do vento dominante. Ao encontrar as zonas montanhosas, o ar sobe e arrefece, podendo dar origem a condensação seguida de precipitação. Ultrapassada

a linha de cumeadas, o ar que desce a contra-encosta aquece por compressão. Como as características do ar na descida são diferentes das do ar na subida, a temperatura do ar e a precipitação podem ser muito diferentes em dois locais à mesma altitude nas duas encostas. O relevo influencia ainda a exposição ao sol, que por sua vez influencia as condições climáticas numa dada zona, uma vez que a radiação solar recebida num local depende do ângulo de incidência da radiação na superfície (Faria & Machado, 1976).

#### 7.3.7.2.1. Curva hipsométrica

A curva hipsométrica é a curva que indica as áreas das superfícies da bacia hidrográfica (em regra em percentagem da área total da bacia), situadas para cima ou para baixo das diferentes curvas de nível. No fundo, constitui a representação gráfica do relevo dessa bacia (Silva, 1994). Apresentam-se de seguida as curvas hipsométricas de duas sub-bacias da bacia do Águeda: Alfusqueiro e Águeda, e ainda a curva total correspondente à bacia do Águeda.

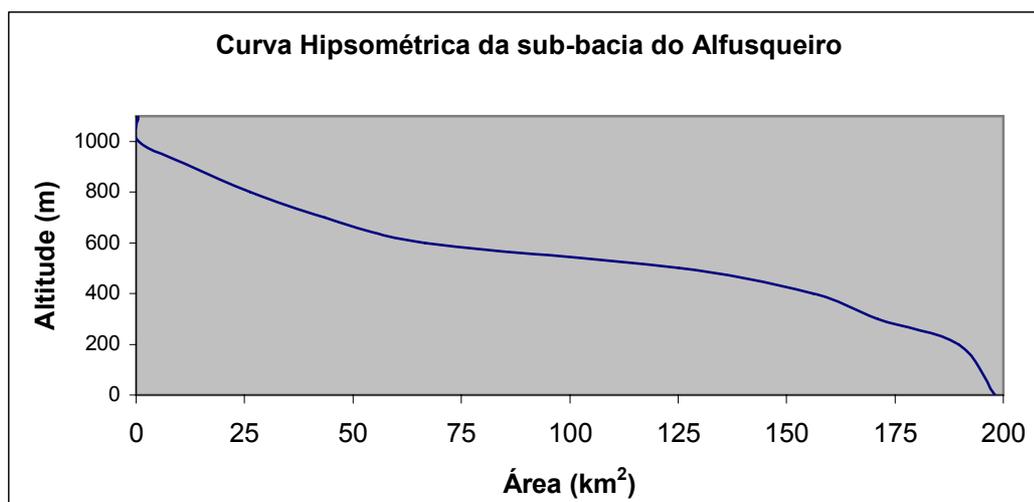
**Gráfico 7.2- Curva Hipsométrica para a sub-bacia do Águeda**



**Tabela 7.3– Distribuição das áreas em altitude na sub-bacia do Águeda**

Altitude (m)	Área			
	km <sup>2</sup>	Acumulada (km <sup>2</sup> )	%	Acumulada %
<b>d</b> <sub>1000-1100</sub>	0.87	0.87	0.2	0.20
<b>d</b> <sub>900-1000</sub>	7.36	8.23	1.7	1.90
<b>d</b> <sub>800-900</sub>	22.52	30.74	5.2	7.10
<b>d</b> <sub>700-800</sub>	27.28	58.02	6.3	13.40
<b>d</b> <sub>600-700</sub>	38.10	96.13	8.8	22.20
<b>d</b> <sub>500-600</sub>	46.33	142.46	10.7	32.90
<b>d</b> <sub>400-500</sub>	85.30	227.76	19.7	52.60
<b>d</b> <sub>300-400</sub>	55.42	283.18	12.8	65.40
<b>d</b> <sub>200-300</sub>	39.84	323.02	9.2	74.60
<b>d</b> <sub>100-200</sub>	49.36	372.38	11.4	86
<b>d</b> <sub>0-100</sub>	60.62	433.00	14.0	100

**Gráfico 7.3- Curva Hipsométrica para a sub-bacia do Alfusqueiro**



**Tabela 7.3.1–Distribuição das áreas em altitude na sub-bacia do Alfusqueiro**

Altitude (m)	Área			
	km <sup>2</sup>	Acumulada (km <sup>2</sup> )	%	Acumulada %
<b>d</b> <sub>1000-1100</sub>	0.40	0.40	0.2	0.2
<b>d</b> <sub>900-1000</sub>	0.20	0.59	0.1	0.3
<b>d</b> <sub>800-900</sub>	12.08	12.67	6.1	6.40
<b>d</b> <sub>700-800</sub>	13.66	26.33	6.9	13.30
<b>d</b> <sub>600-700</sub>	17.23	43.56	8.7	22
<b>d</b> <sub>500-600</sub>	23.17	66.73	11.7	33.7
<b>d</b> <sub>400-500</sub>	58.41	125.14	29.5	63.20
<b>d</b> <sub>300-400</sub>	30.89	156.02	15.6	78.80
<b>d</b> <sub>200-300</sub>	15.05	171.07	7.6	86.40
<b>d</b> <sub>100-200</sub>	18.61	189.68	9.4	95.80
<b>d</b> <sub>0-100</sub>	8.32	198.00	4.2	100

**Gráfico 7.4- Curva Hipsométrica para a bacia do Águeda (total)**

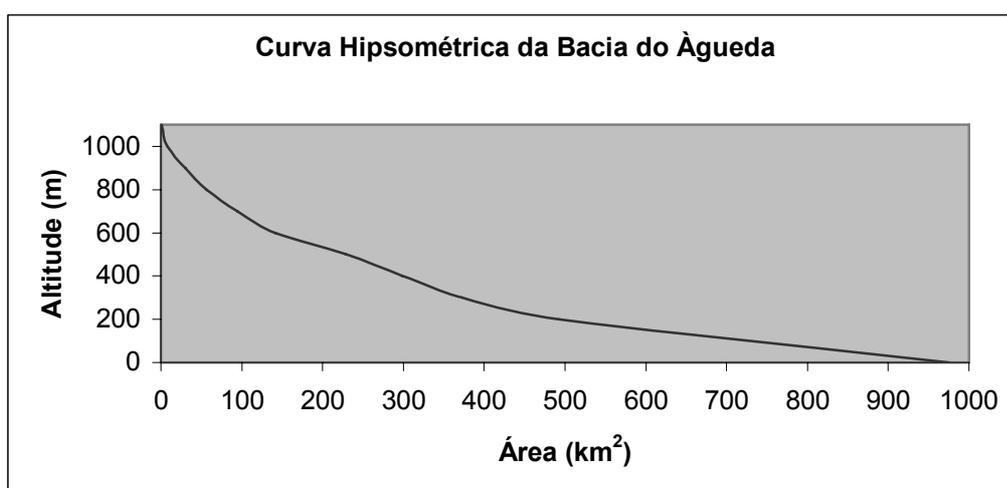


Tabela 7.3.2 – Distribuição das áreas em altitude na bacia do Águeda

Altitude (m)	Área			
	km <sup>2</sup>	Acumulada (km <sup>2</sup> )	%	Acumulada %
<b>d</b> <sub>1000-1100</sub>	0.98	0.98	0,10	0,10
<b>d</b> <sub>900-1000</sub>	6.83	7.80	0.7	0,80
<b>d</b> <sub>800-900</sub>	30.23	30.23	2,30	3,10
<b>d</b> <sub>700-800</sub>	56.55	56.55	2,70	5,80
<b>d</b> <sub>600-700</sub>	94.58	94.58	3,90	9,70
<b>d</b> <sub>500-600</sub>	141.38	141.38	4,80	14,50
<b>d</b> <sub>400-500</sub>	228.15	228.15	8,90	23,40
<b>d</b> <sub>300-400</sub>	298.35	298.35	7,20	30,60
<b>d</b> <sub>200-300</sub>	372.45	372.45	7,60	38,20
<b>d</b> <sub>100-200</sub>	492.38	492.38	12,30	50,50
<b>d</b> <sub>0-100</sub>	975.00	975	49,50	100,00

Analisando as curvas, e a respectiva distribuição das áreas em altitude, observam-se as diferenças morfológicas existentes entre as sub-bacias. Embora a repartição pelas classes de altitude tenha semelhanças, com grande parte da área total situada entre os trezentos e os setecentos metros, a sub-bacia do Alfusqueiro apresenta troços com declive muito mais elevado (rio de montanha), situando-se aí as zonas mais declivosas da bacia do Águeda como um todo.

#### 7.3.7.2.2. Altitude média da bacia hidrográfica

A altitude média da bacia hidrográfica foi determinada através da fórmula :

$$A_m = (\sum h_i * S_i) / S$$

Em que :  $A_m$  = altitude média da bacia

$h_i$  = valor médio das altitudes entre duas curvas de nível

$S_i$  = área entre duas curvas de nível consecutivas

$S$  = área da bacia (Km<sup>2</sup>)

Para a bacia hidrográfica do Águeda o valor determinado da altitude média foi 227.4 m.

### **Tempo de concentração**

O tempo de concentração (em relação a uma dada secção do rio) é definido como sendo o tempo que a água da precipitação leva a percorrer o trajecto que vai desde o ponto mais distante da bacia, a montante, até à referida secção. Este parâmetro apresenta interesse para a avaliação dos caudais de cheia, embora constitua apenas uma estimativa do tempo real de concentração (Correia & Rodrigues, 1985). De facto, como existem inúmeros factores, para além das características geográficas da bacia, que irão afectar o percurso da precipitação ao longo da bacia (capacidade de infiltração, teor de humidade no solo, permeabilidade, duração, intensidade e frequência dos fenómenos meteorológicos, etc.), pelo que estes valores devem ser encarados com alguma prudência (Faria & Machado, 1976; Shaw, 1994; Silva, 1994).

Utilizaram-se, deste modo, para o cálculo, duas fórmulas empíricas obtidas na literatura (Faria & Machado, 1976; Marques da Silva, 1994):

- a) Fórmula de Giandotti
- b) Formula de Torazza

- a) Fórmula de Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5Lr}{0.8\sqrt{Z}}$$

- b) Fórmula de Torazza

$$T_c = 1.085\sqrt{S}$$

onde  $T_c$  = tempo de concentração (horas)  
 $S$  = área da bacia (km<sup>2</sup>)

$L_r$  = comprimento do rio, desde a nascente até à secção considerada (km)

$Z$  = altitude média da bacia menos a altitude do rio na secção considerada (m)

Para a secção da bacia do Águeda, considerada na confluência com o rio Vouga, tem-se:

a)  $T_c = 0.81$  dias

b)  $T_c = 1.41$  dias

com

$S = 975 \text{ km}^2$

$L_r = 71 \text{ km}$  e  $Z = (227.4 - 4.75) \text{ m} = 222.65 \text{ m}$

### 7.3.3 Níveis de cheia na bacia do Águeda

Na bacia do Águeda prevalecem diversas causas para a ocorrência de cheias/inundações com efeitos graves. Ocupando, em grande parte do seu território, uma zona de planície aluvionar, com cotas baixas, sofre ainda a influência da maré e das condições provocadas na confluência do rio Águeda pelos caudais do rio Vouga, ao que se juntam outros problemas: secções de vazão insuficientes em pontes e outras obstruções ao escoamento, a diminuição do coberto vegetal, provocada por sucessivos grandes incêndios florestais, que potencia o aumento da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, a diminuição do tempo de concentração na bacia e uma ocupação indevida dos leitos de cheia, com a sua conseqüente artificialização e degradação (LNEC,1990).

A zona baixa urbana de Águeda, sujeita a inundações frequentes, é um exemplo flagrante. Em Invernos sucessivos, o leito do rio transborda, obrigando ao corte da rede viária, e provocando prejuízo em estabelecimentos comerciais e habitações. As inundações têm início na margem esquerda, de cotas mais baixas, e só depois na margem direita. Ocorrem normalmente quando o período húmido já se encontra instalado

(meses de Dezembro a Março), na sequência de chuvadas intensas que atingem valores elevados na zona de cabeceira da bacia.

#### 7.3.2.1. Considerações prévias

Na bacia hidrográfica do Águeda não existem dados estatísticos representativos de medições directas de caudais máximos instantâneos que permitam estimar caudais de ponta de cheia, correspondentes a diferentes probabilidades de ocorrência, com a confiança suficiente.

Deste modo, com os dados existentes, e as curvas de vazão calculadas para os diferentes troços, será apenas possível apresentar algumas estimativas prudentes para caudais de cheia. Através do uso do modelo hidrológico, procurar-se-á apresentar algumas simulações para a bacia do Águeda, para chuvas com diferentes períodos de retorno e durações. Com estes resultados espera-se estimar, ainda que de modo algo “grosseiro” níveis de alerta em situação de cheia para o sistema de protecção civil.

#### 7.3.2.2. Dados de base

As estações hidrométricas seleccionadas para análise foram já objecto de estudo na secção dois: Ponte de Águeda , Ponte Redonda e Riberio. O critério de escolha teve em conta os seguintes factores: extensão dos registos disponíveis, disponibilidade de curvas de vazão, dimensão da bacia hidrográfica dominada e a sua localização. Para a simulação da situação de cheia o estudo concentrou-se em Ponte de Águeda, uma vez que a estação que se encontra na cidade de Águeda.

Apresentam-se de seguida um breve quadro resumo das suas características:

**Tabela 7.4- Estações Hidrométricas**

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b>Bacia (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Func.</b>
10G/02	Ponte de Águeda	Águeda	433	1934 <sup>14</sup> -
10G/05	Ponte da Redonda	Águeda	152	1974-
10G/03	Ribeiro	Alfusqueiro	198	1977

As curvas de vazão ( $h = f(Q)$ ) adoptadas são as que constam do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos do INAG (SNIRH) e que têm sido utilizadas em vários estudos sobre a matéria. Através da leitura das alturas médias diárias, são calculados os caudais médios diários.

**Tabela 7.5 – Curva de Vazão da Estação Hidrométrica de Ponte da Redonda**

<b>Troço</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>H0 (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Dados de origem</b>
1	11.07945	2.35134	0.877	2.22	1989	Alturas
2	1.12350	2.83784	-0.64	5.0	1989	Alturas

**Tabela 7.6 – Curva de Vazão da Estação Hidrométrica de Ponte da Águeda**

<b>Troço</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>H0 (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Dados de origem</b>
1	3.88155	2.09745	0.07497	3.37174	1984	Alturas
2	61.60896	1.23246	2.5	5	1984	Alturas

**Tabela 7.7 – Curva de Vazão da Estação Hidrométrica de Ribeiro**

<b>Troço</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>H0 (m)</b>	<b>Hf (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Dados de origem</b>
1	16.22209	2.39444	0.80482	1.82761	1989	Alturas
2	4.63162	2.16824	0.0	4.5	1989	Alturas

<sup>14</sup> Na rede hidrométrica convencional. Automatizada em 2001.

### Equação da Curva de Vazão<sup>15</sup>

$$Q = A \times (H - H_0)^B \text{ (m}^3/\text{s)}$$

onde Q= caudal (m<sup>3</sup>/s); H= altura (m)

Note-se que as curvas de vazão em causa não são muito recentes, o que atendendo às transformações sofridas na bacia e à variabilidade dos escoamentos, implica que a sua utilização tenha de ser feita com algumas reservas.

Os registos de precipitação seleccionados referem-se à Estação Hidrométrica do Caramulo/Varzielas e referem-se a precipitações intensas de curta duração. A sua selecção resultou da disponibilidade de séries longas de precipitação (atrás analisadas), da sua localização em relação às estações hidrométrica seleccionadas e da existência de curvas de intensidade -duração- frequência (curvas IDF) já estabelecidas em estudos anteriores (COBA,1975;Brandão &Rodrigues,1998;FBO *et al.*, 1999; Jorge *et al.*,2002).

**Tabela 7.8- Curvas IDF para precipitações excepcionais**

Código	Nome	Curvas IDF (mm/h)		
		T=25 anos	T=50 anos	T=100 anos
10H/01	Caramulo/ Varzielas	245.11d <sup>-0.477</sup>	279.23d <sup>-0.485</sup>	313.44d <sup>-0.492</sup>

d= duração (min)

#### 7.3.4 Estimativas de caudais de ponta de cheia

Alguns estudos anteriores sobre a questão das cheias nas bacia do Vouga e na sub-bacia do Águeda chegaram a estimativas de caudais de ponta de cheia. Contudo, os autores referem muitas vezes a sua incerteza quanto aos dados de base, nomeadamente nas estações do Águeda e do Vouga.

<sup>15</sup> Note-se que também se pode ter  $h = f(Q)$ .

De facto, a análise estatística dos registos das séries revela anomalias, sendo que, por exemplo, no caso da Ponte de Águeda, o valor estimado estatisticamente para o caudal de ponta é inferior ao somatório do caudal das duas estações a montante (Ribeiro e Ponte Redonda). Para obviar a esse facto, os autores dos trabalhos analisados optaram por modelar o caudal de ponta através da relação precipitação/escoamento, chegando assim a estimativas de caudal mais razoáveis quando comparados com os obtidos para as referidas estações a montante. Contudo, os valores derivados da modelação apresentam disparidades no caso de outras estações analisadas (Ponte de Vale Maior e Ponte de Vouzela, num dos estudos), quando comparados com as séries de caudais disponíveis, e foram colocadas dúvidas nos resultados obtidos a partir das curvas de vazão, pelo que a dificuldade de propor valores únicos para as pontas de cheia, quer no Vouga, quer no Águeda, persiste.

**Tabela 7.9- Valores estimados, encontrados na literatura\* para caudais de ponta de cheia (m<sup>3</sup>/s) em algumas estações dos rios Vouga e Águeda**

Estações	Pt. Águeda	Pt. Redonda	Ribeiro	Pt. Vouzela	Pt. Angeja	Pt. Vale Maior	Pedre Ribeira.
Área (km <sup>2</sup> )	433	152	135	649	2358	188	726
T= 5	650	230	400	550		350	850
T=10	750	250	450	800	2900	400	1100
T=50	950	300	600	1700- 1800	3800	550	1700- 1800 2046
T=100	1100	310	650	1900- 2500	4100	600	1900- 2500 2318
T=1000	1400	350	750	3000- 6500		800	3000- 6500 3256

\* COBA,1975; FBO *et al.*, 1999; Jorge *et Al*, 2000; IDAD,2002

Compararam-se de seguida estas estimativas da literatura, obtidos por modelação hidrológica e matemática, com o registo histórico de cheias (obtido n ex-DDPC de Aveiro, actual CDOS, a partir do acompanhamento efectuado em situações reais de cheia ou vigilância/alerta). Note-se que as cotas de 1997 obtidas através do acompanhamento no terreno por parte da ex.- DRAOT/C, uma vez que não existia então o sistema de leitura automática nas estações hidrométricas do Vouga, sendo que as observações de 2001 resultam já do acompanhamento efectuado através do Programa Rios (anteriormente descrito na secção I).

**Tabela 7.10– Registo de situação de cheia na bacia do Águeda em 13 de Novembro de 1997**

Horas	Cota (m)			Caudal (m <sup>3</sup> /s)
	Pt. Águeda	Ribeiro	Pt. Redonda	Pt. Redonda
07:30	8.90	13.20	25.10	118.00
09:00	9.10	13.70	24.10	107.00
09:30	9.20	13.90	25.10	117.00
10:00	9.20	14.20	25.80	157.00
11:00	9.40	14.76	26.60	<b>216.00</b>
11:45	9.60	15.30	26.56	<b>210.00</b>
12:10	9.80	15.50	26.40	198.00
12:30	9.90	15.50	26.20	187.00
14:30	<b>10.20</b>			
14:45	<b>10.20</b>	14.90	25.60	146.75
15:00	<b>10.20</b>	14.70	25.50	139.36
15:10	10.17	14.52	25.37	132.00
16:15	10.10	14.29	25.07	114.00
16:35	10.04	14.10	24.94	107.00
17:20	9.93	13.82	24.73	96.0
18:35		13.50	24.40	78.59
19:05	9.60	13.30	24.20	72.52
20:45	9.40	12.69	23.90	57.56
22:05	9.26	12.66	23.71	50.00

Cota máxima de preia-mar às 11:00 (Estação da Barra: 3.30 m).

Pela análise dos registos, verifica-se que o caudal máximo medido em Ponte Redonda (216 m<sup>3</sup>/s, às 11:00) se aproxima do valor estimado para a cheia de período de retorno de 5 anos (230m<sup>3</sup>/s). A cota máxima atingida em Ponte de Águeda (10.20 m, às 14:30) correspondeu à saída do leito do rio Águeda, com inundação da zona baixa da cidade e estradas marginais da margem esquerda (Espinhel, Recardães, sobretudo). Houve necessidade de evacuar os habitantes do Lugar do Sardão, na margem esquerda, cuja cota é muito baixa, em virtude da subida do nível das águas provocar o isolamento da povoação. Note-se o valor elevado atingido na preia-mar (3.3m), altura máxima de maré (aplicando o retardo de maré para Cacia, a cota máxima foi atingida às 13:00 horas, hora e que se registou uma subida de cota em Ponte de Águeda de 20 cm).

**Tabela 7.11– Registo de situação de cheia na bacia do Águeda em 05 de Janeiro de 2001**

Horas	Cota (m)			Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
	Pt. Águeda	Ribeiro	Pt. Redonda	Pt. Redonda	Ribeiro
09:15	9.06	13.73			162.00
10:30	9.18	14.02	25.31	128.60	184.00
12:30	9.40	<b>16.80</b>	26.24	187.00	295.00
14:30	10.21	15.89	<b>26.37</b>	<b>197.00</b>	<b>354.00</b>
16:15	<b>10.44</b>	15.71	25.94	168.00	335.00
16:30	<b>10.44</b>	15.71	25.94	168.00	334.00
17:00	10.43	15.46	25.91	166.00	311.00
17:40	10.42	15.30	25.90	165.00	296.00

Como se pode observar, o caudal máximo medido em Ponte Redonda (197 m<sup>3</sup>/s, às 14:30) desta vez é inferior ao caudal estimado de ponta de cheia para t=5 anos. Por outro lado, o valor observado em Ribeiro (354 m<sup>3</sup>/s, às 14:30) já se aproxima do valor estimado para a cheia de período de retorno de 5 anos nessa estação (400m<sup>3</sup>/s). A cota máxima atingida em Ponte de Águeda (10.44 m, às 16:15) foi superior à da cheia de 1997, apesar do

débito na Redonda ser inferior ao da cheia anteriormente analisada (216 vs. 197 m<sup>3</sup>/s, respectivamente). Note-se aqui a influência do caudal proveniente do Alfusqueiro, que desta vez foi possível contabilizar (entre as 09:15 e as 14:30 sofreu um aumento de mais de 50%).

### 7.3.5. Simulação da cheia de 26 de Janeiro de 2001

#### 7.3.5.1. Pressupostos iniciais

Os meses de Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001 caracterizaram-se por fenómenos de precipitação intensa que provocaram diversos episódios de cheias um pouco por toda a bacia hidrográfica do Vouga e na sub-bacia do Águeda em particular. O exemplo atrás analisado, correspondendo a 05 de Janeiro de 2001, repetiu-se com mais intensidade no dia 26 de Janeiro de 2001.

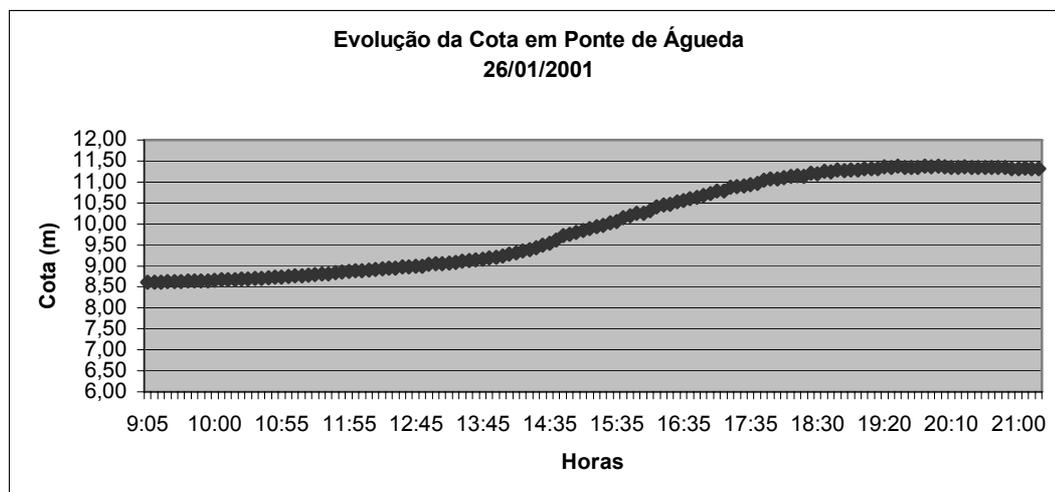


Centro Urbano de Águeda em 26/01/2006

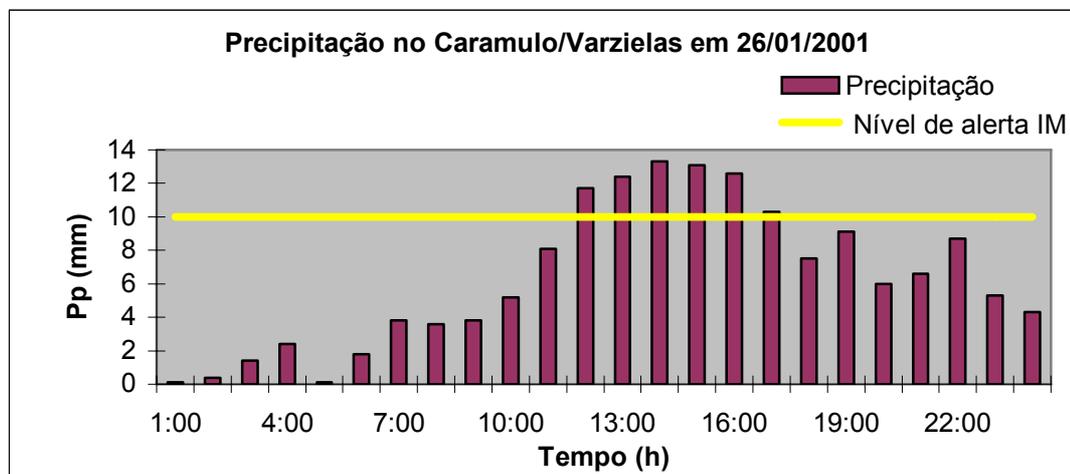
A precipitação ocorrida foi excepcional na região norte e centro do país. O valor diário registado na estação udométrica das Varzielas, entre as 00:00 e as 23:59 foi de 151.60 mm, o que ultrapassa o valor estimado para o período de retorno de 30 anos. Os valores horários encontram-se no gráfico abaixo (7.6) e pode ver-se que foi ultrapassado o valor estabelecido para o limite inferior do Alerta Amarelo de precipitação do Instituto de Meteorologia (10mm/1 hora).

Quanto a registos hidrométricos, foi possível obter informação (através da base de dados do INAG) sobre as estações de Ponte de Águeda, Ribeiro e Ponte Redonda (horas e alturas instantâneas). A estação de ponte de Águeda foi danificada pela cheia, sendo a altura máxima registada 6.62 às 19:50 (cota 11.37 m). Este facto, conjugado com o reduzido grau de confiança que merecem as curvas de vazão, a não disponibilidade de medições de caudal na altura do evento, e com a dificuldade de caracterizar evolução temporal, na sub-região em causa, do fenómeno meteorológico que originou a precipitação (através de um modelo meteorológico adequado) apontam-se desde já como os maiores causadores de incerteza nos resultados gerados pela modelação.

**Gráfico 7.5- Registos de cota (a partir das alturas hidrométricas) em Águeda, cheia de 26/01/2001**



**Gráfico7.6- Registos de precipitação na estação do Caramulo/Varzielas em 26/01/2001**



Da observação dos gráficos pode verificar-se que o período de mais intensa pluviosidade decorreu entre as 11:00 e as 17:00, atingindo um pico por volta das 14:00. A subida da cota acompanhou a pluviosidade, sendo que a partir das 14:00, foi notória a rapidez da resposta da bacia, com a subida da altura medida (e correspondente cota) a verificar-se a um ritmo muito intenso. Estas observações levam-nos a considerar que os tempos de resposta calculados em função da geometria e fisiografia da bacia (Fórmulas de Torazza e Giandotti) sofrem a interferência de outros factores, tal como já mencionado. Neste caso, acredita-se que o teor de humidade no solo e a intensidade e duração das chuvadas aceleraram a resposta do escoamento à precipitação.

#### 7.3.5.2. Metodologia adoptada

Procurou efectuar-se a modelação da bacia hidrográfica utilizando os dados da cheia de 26 de Janeiro de 2001 para calibrar o modelo hidrológico. Para simplificar os cálculos, atendendo à complexidade da modelação e ao grau de incerteza relativamente aos dados de base, considerou-se apenas uma sub-secção, representada pela Estação Hidrométrica de Ponte de Águeda. Os valores de caudal foram estimados a

partir das alturas hidrométricas instantâneas, através da curva de vazão. A precipitação utilizada foi a da Estação Udométrica do Caramulo/Varzielas. Para o cálculo, é necessário estabelecer determinados parâmetros, que fazem parte dos componentes necessários à modelação. O programa disponibiliza vários métodos para cada um desses parâmetros. A escolha da metodologia mais adequada constituiu uma dificuldade acrescida, uma vez que havia pouca experiência na matéria, sendo esta a primeira simulação. Assim optou-se por tentar um equilíbrio entre os métodos mais simples e os que se acreditou mais adequados à realidade da bacia, dentro das escolhas possíveis.

Condições iniciais :

- As perdas por absorção foram determinadas através da definição do número de escoamento (metodologia do US Soil Conservation Service). Este número tem em conta características como o teor de humidade no solo (aqui considerado saturado), tipo de coberto, usos do território e teve em conta as características hidrológicas do solo na bacia do Vouga, obtidas através do Atlas do Ambiente (INAG, 2005).
- O tempo de concentração foi avaliado através das fórmulas de Giandotti e de Torazza, conforme atrás descrito.
- Os dados meteorológicos (precipitação) foram tratados através do método do hidrograma unitário do US Soil Conservation Service
- O modelo da bacia imaginado, muito simples, constituído apenas por uma secção e um posto udométrico, atendeu aos índices determinados atrás, partir das suas características fisiográficas e geométricas.
- A simulação precipitação escoamento foi feita a partir da série cronológica da precipitação obtida em Caramulo/Varzielas no dia 26/01/2006

### Processo de Cálculo

Para executar um sequência (simulação a partir de um dado conjunto de informação), o primeiro passo consiste na criação de um projecto (nome e descrição breve). No caso presente, Projecto Águeda.

Em seguida, introduzem-se os dados correspondentes às séries cronológicas de precipitação e ao escoamento e cria-se, a partir das opções existentes, o hidrograma unitário a utilizar na simulação.

Posto isto, é necessário criar um modelo para a bacia e introduzir todos os elementos para a sua caracterização (forma, declive, estruturas hidráulicas, etc..) , criando uma rede hidrográfica e ligando todos os elementos. Neste caso, optou-se por apenas uma secção e um posto udométrico a montante desta: Ponte de Águeda e Varzielas, de modo a simplificar a rede, e também não se considerou a presença das barragens existentes. Mais tarde, após a correcção dos resultados e um maior grau de certeza em relação à parametrização do modelo, será possível ir adicionando elementos até chegar a uma bacia mais complexa (e suas sub-bacias) e mais próxima da realidade.

Procede-se em seguida à escolha de um modelo meteorológico apropriado e à especificação das condições da simulação: data e hora de início e de fim e intervalos de tempo (horas, minutos) a simular. Finalmente, com um modelo de bacia, um modelo meteorológico e as especificações, é possível executar uma sequência.

#### 7.3.6 Resultados e discussão

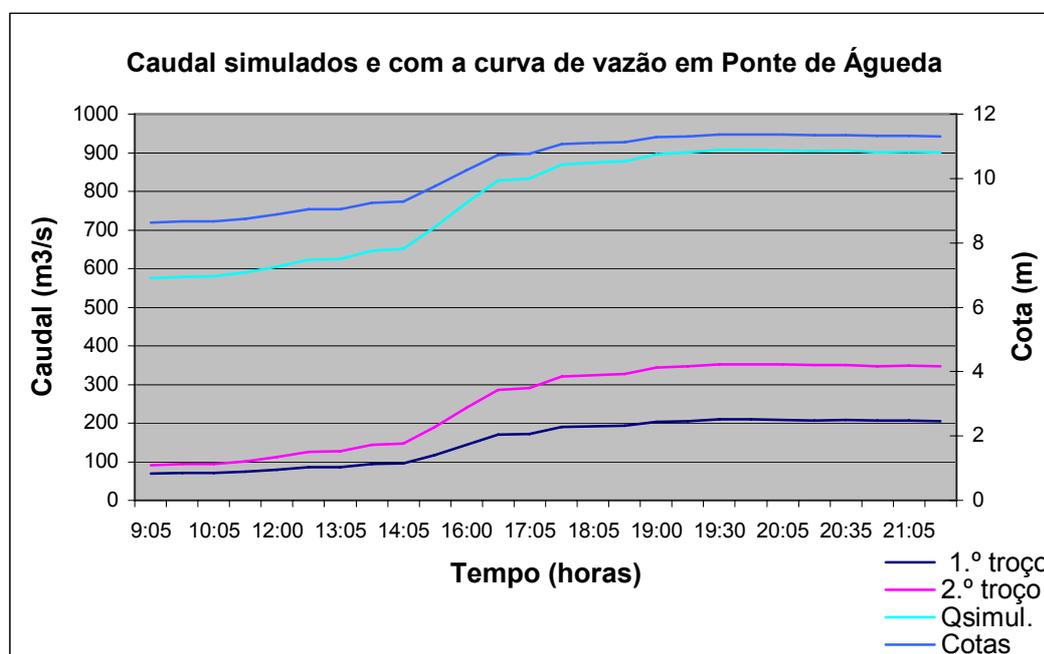
Na tabela seguinte apresentam-se os valores de caudais de ponta obtidos por simulação hidrológica e os calculados através das curvas de vazão para a Estação de Ponte de Águeda. O gráfico representa a evolução dos caudais calculados através da curva de vazão e a cota máxima atingida (registada) em 26/01/2006.

**Tabela 7.12- Valores estimados para a cheia de 26/01/2001**

Secção	Caudal máximo calculado na simulação (m <sup>3</sup> /s)	Caudal máximo calculado através da curva de vazão (m <sup>3</sup> /s)	Cota máxima observada real (m)
Ponte de Águeda	907 (20:30)	209.39 (1.º troço) 352.76 (2.º troço)	11.37 (19:30) <sup>α</sup>

α- A estação ficou danificada na cheia pelo que poderá ter sido atingida uma cota mais elevada em hora posterior.

**Gráfico 7.7- Caudais estimados para a cheia de 26/01/2001**



Jorge *et al.*, num estudo de 2002, chegaram a valores de caudal simulado de 775 (m<sup>3</sup>/s), utilizando uma versão deste modelo hidrológico. Os valores obtidos no presente trabalho são superiores, quando comparados com o estudo referido, e muito acima dos valores estimados através da curva de vazão (contudo, e pelas razões já apresentadas, a fiabilidade desta curva apresenta-se seriamente comprometida). A ordem de grandeza aproximada é a da cheia com T=50 anos, ao passo que os valores obtidos por Jorge *et al.* aproximam-se de T=10. As estimativas obtidas pela curva de vazão ficou muito aquém de qualquer valor estimado para caudais de ponta. A precipitação do dia 26/01/2001, conforme atrás referido, encontra-

se classificada pelo Instituto de Meteorologia como sendo superior ao tempo de retorno de 30 anos, o que também se encaixa melhor nos resultados do estudo citado.

Atendendo ao exposto, parece-nos que estes resultados, obtidos pela modelação hidrológica, devem ser encarados com alguma prudência. A complexidade dos factores envolvidos e a multiplicidade de escolhas quanto aos parâmetros iniciais existentes no modelo influencia de forma significativa os resultados dos cálculos, pelo que só através de novas simulações, aferidas com dados reais da monitorização, se poderá ir corrigindo desvios e ajustando as previsões à realidade. Acredita-se que, à medida que se for dispondo de mais informação proveniente das estações hidrométricas, de maior certeza e padronização dos parâmetros iniciais e de mais estudos comparativos, se possa chegar a um maior domínio da modelação hidrológica e a resultados mais fiáveis. A construção de uma nova curva de vazão para a estação de Ponte de Águeda parece-nos ainda urgente e necessária para uma aferição dos resultados obtidos através dos modelos matemáticos, sendo que ficou demonstrado, à imagem de estudos anteriores, que a existente não traduz os verdadeiros caudais escoados naquela secção da bacia hidrográfica.

### 7.3.7 Níveis de aviso à população

O Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos do INAG, através da monitorização *on-line* da bacia do Vouga e sub-bacia do Águeda permite ao sistema de protecção civil avaliar e prevenir potenciais situações de cheia. Através da utilização de dados históricos e da modelação, foram calculados níveis de alerta ao sistema de protecção civil, para os quais os planos de emergência municipais e distrital obrigam a um determinado tipo de acções e decisões (ver tabela 6.1) que poderão corresponder à necessidade de avisar a população. A tabela abaixo mostra uma proposta dos níveis de alerta para o sistema de protecção civil, tendo já em linha de

conta as obras preventivas levadas a cabo na bacia do Águeda, anteriormente referidas.

**Tabela 7.13- Níveis de alerta propostos em função da cota em Ponte de Águeda**

<b>Nível de Alerta</b>	<b>Cota na Ponte de Águeda</b>	<b>Situação</b>
Vermelho	10.20	Inundação generalizada na bacia. Zona urbanas e freguesias rurais em ambas as margens inundadas.
Laranja	9.50	Inundação na zona urbana de Águeda através do sistema de águas pluviais
Amarelo	8.50	Estradas marginais da margem esquerda começam a inundar.
	8.44	Inundação do túnel do Sardão (margem esquerda).
Azul	-	Normal



### **Secção III – Conclusões**

## 8. Conclusões

Da discussão de resultados atrás exposta, pode inferir-se que os resultados da simulação hidrológica ficaram aquém das expectativas, em comparação com os resultados obtidos e face às conclusões a que chegaram outros autores, com um modelo semelhante. Confirmou-se ainda que eram válidas as reservas em relação à curva de vazão do Águeda. O caudal simulado de ponta da cheia aproximou-se de valores estimados para a cheia de período de retorno  $T=50$  anos, ao passo que os valores da cheia de 26/01/2006 se aproximam da cheia com período de retorno  $T=10$  anos, de acordo com outros trabalhos estudados.

Teria sido interessante estudar uma cheia mais recente, uma vez que os valores de cota atingidos em 2003 e 2005, de acordo com os registos consultados, foram mais baixos, para valores de precipitação de ordem semelhante (superiores a 10 mm/hora), o que se deve às obras de desobstrução e limpeza entretanto realizadas.

A questão da influência da maré, na zona de confluência do Águeda com o Vouga e o seu papel no desenvolvimento das cheias foi aqui apenas a florada, constituindo uma das lacunas do presente trabalho não ter aprofundado o potencial efeito da maré na zona de confluência Águeda/Vouga, bem assim como o regime de ventos na região.

A grande variabilidade dos dados de base e as suas lacunas, a complexidade do modelo e das suas variáveis, a simplificação a que se reduziu a bacia, nesta fase inicial das simulações, associado à dificuldade de delimitar o fenómeno meteorológico na área em questão, foram factores geradores de incerteza que futuras simulações, alicerçadas em melhores dados de base e aproveitando a experiência adquirida, poderão vir a melhorar.

De qualquer forma, (e apesar da questão do caudal de ponta carecer de estudos mais aprofundados, sendo talvez a questão mais controversa, conforme mostram os valores encontrados na literatura e os resultados do presente estudo), através da informação que foi possível recolher e tratar, é

possível efectuar uma previsão das zonas inundáveis para períodos de cheia com tempos de retorno variáveis e, através da cota prevista, proceder à sua cartografia. Esta medida encontrará o seu melhor suporte no novo Projecto “Protecção

Civil Digital”, uma vez que se pretende, num futuro próximo, estendê-lo a todos os agentes e instituições do sistema de protecção civil.

A Bacia Hidrográfica do Rio Vouga é um território heterogéneo, profundamente marcado pela intervenção humana, e esta diversidade traduz-se de igual modo nas variações do seu regime hidrológico, desde o Caramulo à Ria de Aveiro. Sem dúvida que a zona de maiores preocupações a nível de cheias é a bacia do Águeda, devido à intensa ocupação humana e à apropriação gradual do leito de cheia pelas populações. Algumas medidas preventivas foram levadas a cabo, após a última grande cheia (2001), através de uma parceria entre o INAG e a Câmara Municipal de Águeda. Efectuaram-se intervenções (limpeza das margens, desobstrução de atravessamentos, aumento da capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem), no sentido de, por um lado, melhorar a capacidade de vazão no troço entre a confluência do Águeda e do Vouga e por outro, executar obras de protecção pontual à cidade.

Estas permitiram, de certa forma, mitigar a extensão e as consequências do fenómeno, mas enquanto persistir a ocupação humana na vizinhança das linhas de água, o risco de se perderem vidas e bens persistirá também. Dado que os instrumentos legais para travar a nossa expansão em direcção a zonas perigosas em termos hidrológicos já existem, importa que se consciencialize a população para os riscos associados a esses locais, aparentemente paradisíacos, e que se fiscalize o rigoroso cumprimento dessas leis, não se permitindo também que o Estado e as Autarquia Locais sejam os primeiros prevaricadores, ao arrepio da legalidade que eles próprios criaram.

Por outro lado, urge dotar o sistema de protecção civil de meios e recursos que lhe permitam, em primeiro lugar, fazer a formação e a prevenção das populações, preparando-as para lidar com os riscos associados a uma

situação de inundação grave, e alertando-as para uma possível evacuação das zonas de risco, e por outro, prestar o necessário socorro às vítimas, de forma organizada e célere.

Da análise deste trabalho resulta que muito há ainda a fazer em termos técnicos e científicos quer no campo da modelização hidrológica de cheias na bacia do Vouga e, de modo particular, na sub-bacia do Águeda, quer na preparação do sistema de protecção civil para lhes dar a melhor resposta, em defesa das populações.

## 9. Recomendações/Sugestões

A instalação de estações de monitorização hidrométrica adicionais na bacia, e a recuperação do equipamento de outras parece-nos fundamental para uma melhor compreensão do comportamento hidrológico desta. As zona do Médio e Baixo Vouga possuem actualmente poucas estações funcionais, sendo que em algumas destas apenas se consegue registar um parâmetro (cota). Cheias sucessivas, vandalismo e dificuldades de manutenção têm contribuído para danificar os equipamentos instalados, gerando assim lacunas de informação que dificultam a análise do fenómeno das cheias na região.

Quanto às medidas preventivas (e já foi aqui provado que houve ganho em termos de diminuição da severidade das cheias através de algumas intervenções) seria importante recuperar a ideia da construção da prevista barragem de Ribeiradio, no rio Vouga. Esta permitiria o amortecimento dos caudais de cheia no Vouga, e, por consequência, diminuiria os problemas existentes na sua confluência com o Águeda. Para além da questão das cheias, a barragem é de importância estratégica em termos de gestão do abastecimento de água às populações do Baixo Vouga. As captações existentes, mesmo contando com o Sistema do Carvoeiro, encontram já dificuldade em responder ao aumento progressivo do consumo e à degradação da qualidade (situação que, uma vez mais, foi agravada pelos incêndios florestais dos últimos anos).

Uma melhor articulação entre os organismos e entidades com responsabilidades na gestão dos recursos hídricos (INAG, CCDR (ex.-DRAOT's), municípios, SNBPC, entidades gestoras de barragens) seria também desejável. Uma gestão equilibrada é da máxima importância para assegurar o seu correcto aproveitamento, sem por em causa a sua função enquanto suporte de várias comunidades, humanas e ecológicas. A multiplicidade de interesses que gravitam junto das apetecidas zonas ribeirinhas criam pressões sociais, políticas e económicas que podem levar

ao seu uso abusivo, e potencial situações de risco, com elevados custos, humanos e materiais.

A cartografia das zonas inundáveis e a sua integração num modelo de informação geográfica integrado no sistema de protecção civil digital será, no futuro próximo, uma realidade, constituindo assim uma valiosa ferramenta de apoio à decisão.

O desenvolvimento de um modelo hidrológico específico para a bacia do Águeda, atendendo a todas as características particulares da bacia, e suportado por um histórico de dados suficientemente grande para que se possa fazer a sua correcta calibração, seria uma mais valia para o aperfeiçoamento do sistema de aviso e alerta às populações ribeirinhas. Este trabalho constitui apenas um primeiro passo nesse sentido, e necessita de ser aperfeiçoado e desenvolvido, integrando mais e melhor informação, de forma a poder traduzir de forma mais aproximada e correcta a realidade.

## 10. Bibliografia

- Águas do Vouga. Exploração e Gestão do Sistema Regional do Carvoeiro. Plano de Emergência. 2001.
- Associação Industrial do Distrito de Aveiro. 2000. Dados de caracterização económica do Distrito de Aveiro.
- Almeida, C.; Mendonça, J.L.; Jesus, MR; Gomes, AS. 2000. *Actualização do inventário dos sistemas aquíferos*. INAG-DSRH/DRSUB e Centro Geológico da FCUL. Lisboa, Portugal. Documento HTLM. [http://snirh.inag.pt/estudos\\_proj](http://snirh.inag.pt/estudos_proj)
- Andresen, T.; Curado, M. J.; Páscoa, F.; Santos, H. P.; Pinho, P.; Silva, M.; Arroja, L.; Magalhães, I.; Gonçalves, J. M.; Nunes, M.; Santos, D.; Miguens, F.; Jordão, A.; Imperial F.; Gomes, F. V.; Coelho C.; Eça, P.; Luís, A.; Leão, F.; Pinho, R.; Crespi, A.; Lopes, L.; Ribeiro, L. P.; Jorge, J.; Arsénio, P.; Bóia, C.; Silva, C.; Almeida, P.; Repas, A.; Martins, F.; Ferreira, I. 2001. *Estudo de Impacte Ambiental do Projecto de Desenvolvimento Agrícola do Vouga. Bloco do Baixo Vouga Lagunar*. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.
- Arroteia, Jorge Carvalho. 1996. *Notas Geográficas sobre a bacia do Vouga*. Seminário – A bacia do Vouga e os seus recursos: Que desafios? Associação dos Amigos do Rio Vouga. Aveiro, Portugal.
- Associação Industrial do Distrito de Aveiro (AIDA). 2000. *Anuário 2000*.
- Bernardes, Edgar; Guedes, Margarida. 2000. *O papel regulador dos oceanos no clima: deveremos detonar a “bomba biológica”?*. Mestrado Luso Brasileiro em Gestão e Políticas Ambientais. Universidade de Aveiro, Portugal.
- Borrego, Carlos; Gonçalves, Ana Paula. 1996. *Poluição Urbana e Industrial no Baixo Vouga*. Seminário – A bacia do Vouga e os seus recursos: Que desafios? Associação dos Amigos do Rio Vouga. Aveiro, Portugal

- Brandão, Cláudia; Rodrigues, Rui. 1998. *Modelação hidrológica de cheias afluentes a barragens como mecanismo de auxílio à gestão de albufeiras*. 4.º Congresso da Água – A água como recurso estruturante do desenvolvimento. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
- Brandão, Cláudia; Rodrigues, Rui. 1998. *Precipitações Intensas em Portugal Continental para um período de Retorno até 1000 anos*. INAG. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
- Carvalho, Celina Ramos de; Garcia, Paula Cristina; Sobral, Pedro Nunes Ramos; Ramos, Carlos Alberto Simões; Simões, José António; Fabrício, Joaquim Fernandes. 1997. *Rede Climatológica das Bacias Hidrográficas dos Rios Mondego, Vouga e Lis*. Ministério do Ambiente. Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Centro. Direcção dos Serviços da Água- Divisão dos Recursos Hídricos. Coimbra, Portugal.
- COBA. 1975. *Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Vouga. Plano Geral. Estudo Prévio*. Volume XIII. Síntese. Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos. Portugal.
- Correia, Francisco Nunes; Rodrigues, Rui Raposo. 1985. *Critérios de Optimização de Redes Hidrometeorológicas – proposta de um método para a determinação de parâmetros hidrológicos de bacias hidrográficas e para a separação de hidrogramas de escoamento*. ICT. Informação Técnica Hidráulica. ITH 20. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal.
- Costa, Fernanda; Ramos, Maria Helena Moura; Jacinto, Rui. Jacinto. 1996. *A bacia do Vouga: heterogeneidade e dinamismos de um território de mudança*. Comissão de Coordenação da Região Centro. Seminário – A bacia do Vouga e os seus recursos: Que desafios? Associação dos Amigos do Rio Vouga. Aveiro, Portugal.
- Cristo, Fernando Peixinho de. 1996. *Gestão de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Vouga*. Seminário – A bacia do Vouga e os seus recursos: Que desafios? Associação dos Amigos do Rio Vouga. Aveiro, Portugal.

- Dirección General de Protección Civil. 1983. *Instrucciones Ante Inundaciones (Actuación de la Protección Civil Local en casos de inundaciones)*. Madrid, Espana.
- Custódio, Llamas MR. 1983. *Hidrologia Subterrânea (2ª edición)*. Tomo I e II. Ediciones Omega. Barcelona, Espanha.
- Estrela, Teodoro; Menéndez, Manuel; Dimas, Mirta; Marcuello, Concepcion; Rees, Gwyn; Cole, Gwyneth; Weber, Karin; Grath, Johannes; Leonard, Jennifer; Ovesen, Niels Bering; Fehér, János; Vituki, Consult; Lack, Timothy; Thyssen, Niels. 2001. *Sustainable water use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts*. Environmental Issues N.º 21. European Environment Agency. Copenhagen. <http://www.eea.eu.int>
- Faria, J. M. da Rocha; Machado, M.J. Sousa. 1976. *Contribuição para o estudo hidroclimatológico da bacia hidrográfica do rio Vouga*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Ministério dos Transportes e Comunicações.
- Girão, Aristides de Amorim. 1922. *Bacia do Vouga – Estudo Geográfico*. Universidade de Coimbra. Portugal
- Guedes, Margarida. 2001. *Zonas Vulneráveis à Inundação no Distrito de Aveiro*. Delegação Distrital de Aveiro. Serviço Nacional de Protecção Civil.
- Guedes, Margarida. 2001. *Base de dados de vulnerabilidades face a inundações no Distrito de Aveiro*. Delegação Distrital de Aveiro. Serviço Nacional de Protecção Civil.
- Instituto do Ambiente e Desenvolvimento da Universidade de Aveiro – IDAD. 2002. *Estudo de Impacte Ambiental da Requalificação da Pista de Remo de Aveiro*. Aveiro, Portugal.
- FBO, HLC *et al.*. 1999. *Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Vouga*. Lisboa, Portugal.
- Jorge, Graça; Valério, António; Franco, A. Bento. 2002. *Controlo de Cheias em Águeda*. 6.º Congresso da Água – A água é d'Ouro. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Departamento de Hidráulica. Núcleo de Hidrologia e Hidráulica. 1992. *As cheias em Portugal* -

- Caracterização das Zonas de Risco. 4.º Relatório: Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. Relatório 196/92.*
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Departamento de Hidráulica. Núcleo de Hidrologia e Hidráulica.1990. *As cheias em Portugal - Caracterização das Zonas de Risco. 1.º Relatório : Análise Preliminar. Relatório 142/90*
  - Lorena, Manuel Luís. *Análise das Cheias Catastróficas das Ribeiras de Monchique e de Odelouca de Outubro de 1997*.Poster. 6.º Congresso da Água – A água é d’Ouro. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
  - Maia, R.; Ribeiro, A.Alvares.1998. *As cheias e a gestão de bacias hidrográficas. 4.º Congresso da Água – A água como recurso estruturante do desenvolvimento. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.*
  - Oliveira, Manuel de Sousa; Fernandes, Irene Ramos; Silva, José Dias da.2002. *As grandes albufeiras nos afluentes portugueses do Rio Douro e a sua importância na laminação das cheias. 6.º Congresso da Água – A água é d’Ouro. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.*
  - Penning-Rowell, Edmund; Fordham, Maureen. (Editors).1994. *Floods Across Europe – Flood Hazard Assessment, Modelling and Management. Middlesex University Press. London, Great Britain.*
  - Plano Distrital de Emergência de Aveiro.1995. Delegação Distrital de Protecção Civil de Aveiro, Serviço Nacional de Protecção Civil.
  - Plano Especial Distrital de Cheias e Inundações. 2000. Delegação Distrital de Protecção Civil do Porto, Serviço Nacional de Protecção Civil.
  - Portela, Maria Manuela; Hora, Guilherme Rodrigues da.2002. *Aplicação da Fórmula Racional à Análise de Cheias em Portugal Continental : valores do coeficiente C. 6.º Congresso da Água – A água é d’Ouro. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.*
  - Rego, Filipe Castro; Correia, Francisco Nunes.1999. *Utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de modelação hidrológica e*

*hidráulica na delimitação de leitos de cheia*. Recursos Hídricos, Vol. 21, pp. 27- 36.

- Reis, Anabela Ribeiro dos. 2000. *Condicionantes Hidrogeológicas e Antrópicas na Mobilização de Elementos Poluentes – Um estudo nos rios Águeda e Cértima (Portugal Central)*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre. Universidade de Coimbra. Departamento de Ciências da Terra. Coimbra, Portugal.
- Rocha, J. 1998. *O risco de inundações e a sua gestão. Uma visão nacional e uma visão europeia*. . 4.º Congresso da Água – A água como recurso estruturante do desenvolvimento. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
- Rodrigues, Aquilino; Saramago, Manuela; Rodrigues, Carlos Miranda; Lacerda, Manuel; Rodrigues, Rui. 1998. *Evolução Recente do Sistema de Vigilância e Alerta de Cheias*. 4.º Congresso da Água – A água como recurso estruturante do desenvolvimento. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, Portugal.
- Rodrigues, Rui Raposo (coordenador). 2001. *Monitorização de Recursos Hídricos no Limiar do séc. XXI*. Instituto da Água– INAG. DSRH. Lisboa, Portugal.
- Shaw, E.M.1994. *Hydrogeology in practice*. Third Edition. Chapman Hall London, Great Britain.
- Silva, Manuel Augusto Marques da. 1994. *Apontamentos de Hidrologia Geral*. Universidade de Aveiro, Portugal.
- Silva, Manuel Augusto Marques da.1999. *Contributos para o Plano de Bacia Hidrográfica do Vouga. Anexo 4. Recursos Hídricos Subterrâneos*.
- Smith, Keith; Ward, Ron.1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. John Wiley and Sons. International Edition.
- Teixeira, António Manuel Paranhos. 1988. *Planeamento da Evacuação de Grandes Centros Populacionais*. Revista “Protecção Civil”. Vol. I – N.º 4, pp 22-30. Setembro de 1988. Serviço Nacional de Protecção Civil. Lisboa, Portugal.

- US Army Corps of Engineers. Hydrologic Modelling System HEC-HMS. 2001. *User's Manual Version 2.1*. Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil>

## 11. Legislação

### **Zonas ameaçadas por Cheias**

- Dec. Lei N.º 468/71 de 05 Novembro
- Dec. Lei N.º 89/87 de 26 de Fevereiro
- Dec. Lei N.º 364/98 de 21 de Novembro
- Lei N.º 54/2005 de 15 de Novembro

### **Segurança de Barragens**

- Dec. Lei N.º 11/90 de 06 de Janeiro
- Portaria 846/93 de 10 Setembro
- Dec. Lei N.º 409/93 de 14 de Dezembro

### **Gestão de Albufeiras**

- Dec. Lei N.º 21/98 de 03 de Fevereiro

### **Zonas Inundáveis nos Municípios com Aglomerados Urbanos Atingidos por Cheias**

- Dec. Lei N.º 364/98 de 21 de Novembro

### **Protocolo de Prevenção de Cheias da Bacia Hidrográfica do Rio Douro**

- Despacho Conjunto MDN/MAI/MIE/MARN de 21 de Fevereiro de 1995

### **Protocolo de Prevenção de Cheias da Bacia Hidrográfica do Rio Sado**

- Despacho Conjunto MDN/MPA/MAI/MAPA/MOPTC de 07 de Janeiro de 1988

### **Protocolo de Prevenção de Cheias da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo**

- Despacho Conjunto MAI/MIE/MES de 15 Março de 1984

## **12. Endereços Electrónicos**

- Comissão de Coordenação da Região Centro, 2002. <http://www.ccr-c.pt/regiao/municipios>
- Hydrologic Modelling System HEC-HMS. 2001. *User's Manual Version 2.1*. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil>
- European Environmental Agency. 2002. <http://www.eea.eu.int>
- Instituto da Água (INAG), 2002 <http://www.inag.pt>
- Instituto da Conservação da Natureza (ICN). 1999. <http://www.icn.pt>
- Instituto Hidrográfico da Marinha, 2005. <http://www.hidrografico.pt>
- Instituto de Meteorologia, 2004. <http://www.meteo.pt>
- Instituto Nacional de Estatística, 2002. <http://www.ine.pt>

## 13. Glossário

**Bacia Hidrográfica**- espaço definido topograficamente, que é drenado por um curso de água e/ou seus afluentes, passando por um ponto de referência.

**Cheia**- ocorrência de um valor muito elevado de caudal num curso de água resultante da ocorrência de precipitação intensa ou de grande duração. Quando a cheia provoca o transbordo do leito, dá-se a inundação de terrenos marginais.

**Cota**- número de pontos à mesma altura. Em termos hidrológicos, tem como referência o zero hidrográfico, estabelecido em Portugal no marégrafo de Cascais, que se encontra 2.0 m abaixo do nível médio das águas do mar.

**Escoamento de base**- corresponde à água previamente infiltrada nas formações geológicas por onde passa a rede hidrográfica e que por esta rede se drena. Constitui a contribuição para o escoamento superficial das reservas hídricas subterrâneas. Durante períodos de precipitação intensa, a sua importância é pequena mas representa a totalidade do escoamento superficial quando as outras componentes se esgotam.

**Hidrograma**- gráfico que mostra a variação do caudal em função do tempo (no sentido restrito do termo)

**Inundação**- massa de água que sobe e inunda terra não normalmente submersa

**Período de Retorno** – o período de retorno (T) de um dado q é o valor médio do número de anos que decorre para que este seja excedido. O seu valor é o inverso da probabilidade de excedência em cada ano (p).  $T = 1/p$ .

**Precipitação útil-** a parte da precipitação que contribui para o caudal registado numa dada secção do rio. A outra parte, que vai repor a humidade do solo, ser interceptada ou retida superficialmente, designa-se como absorção.

**Tempo de concentração-** intervalo que decorre entre o fim da precipitação útil e o fim da escorrência directa. Representa o tempo que tarda a passar na secção de referência (onde se obtém o hidrograma) a última fracção de chuva útil caída no ponto da bacia hidraulicamente mais afastado dessa mesma secção e que circula por escorrência directa.

## **14. Anexos**

### ***14.1. Vulnerabilidades face ao risco de Inundação –base de dados do distrito de Aveiro***

