



**Juliana Marisa
Ferreira dos Santos**

**Estudo da relação entre o caudal e indicadores de
qualidade da água no Médio Vouga**



**Juliana Marisa
Ferreira dos Santos**

**Estudo da relação entre o caudal e indicadores de
qualidade da água no Médio Vouga**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Àos meus avós, Francisco e Celestina, pilar da minha formação como pessoa, pelo carinho, orgulho e confiança que sempre depositaram em mim;

À minha irmã Paula por ser acima de tudo amiga, compartilhando os bons e maus momentos da vida sempre; ao Fred por fazê-la uma pessoa mais feliz;

Ao meu pai, o meu patrocinador oficial do curso, pela presença e apoio constante;

À minha mãe ao meu irmão Filipe.

o júri

Presidente

Prof. Doutor José Manuel Monteiro Gonçalves

Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exactas e do Ambiente da Escola Superior Agrária de Coimbra

Profa. Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves Nadais

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Orientador)

agradecimentos

Ao Prof. Doutor José Figueiredo da Silva, orientador desta tese, pela disponibilidade, ensinamentos e ajudas dadas ao longo da elaboração da tese.

palavras-chave

Hidroquímica, qualidade da água, bacia hidrográfica, caudal, rio Vouga tradicional.

resumo

A presente dissertação tem como principal objectivo a caracterização hidroquímica e da qualidade da água da bacia hidrográfica do médio Vouga direito, tendo em vista a avaliação de riscos de incumprimento da qualidade na captação do Carvoeiro.

O troço do Rio Vouga estudado tem início na foz do rio Zela, estende-se ao longo de 40 km, com uma área de drenagem de 417 km², e termina no Carvoeiro, onde existe um Sistema de Abastecimento de água à escala Regional.

Foram seleccionados 15 pontos de amostragem na área da bacia estudada, tendo em conta a acessibilidade e essencialmente a representatividade de distribuição de possíveis fontes poluidoras. Foram amostrados pontos no troço principal do Rio Vouga e também nos principais afluentes do Rio Vouga, nomeadamente no rio Mau, rio Teixeira, rio Varoso e rio Zela.

Os parâmetros medidos "*in situ*" foram a temperatura, o oxigénio dissolvido, a condutividade, a turbidez, a ficocianina e a clorofila a. Para análise em laboratório foram recolhidas amostras de água e analisados os seguintes parâmetros indicadores da qualidade da água: sólidos suspensos totais e voláteis, amónia, CBO₅, nitratos, fósforo total e solúvel, azoto total e orgânico.

Nos dias de amostragem, quando foi possível, foram medidos os caudais em dois afluentes do rio Vouga, a ribeira da Alombada e o Rio Mau, e também no Carvoeiro (rio Vouga). Este facto constitui um dos objectivos deste trabalho, que consiste em verificar a relação que existe entre o caudal do rio e os indicadores da qualidade da água acima enunciados. Para isso aplicou-se o modelo matemático EPA-SWMM para simular o caudal do rio ao longo de todo o troço estudado até ao Carvoeiro.

Os resultados mostram que a bacia do médio Vouga apresenta problemas de poluição, em particular no troço entre Vouzela e a ponte de Pessegueiro, sendo os valores mais elevados de nutrientes observados em Sejães. Esta degradação da qualidade está relacionada com a actividade agrícola na bacia e com as descargas de efluentes domésticos. Com o aumento do caudal do rio em Abril observa-se uma melhoria da qualidade da água. No entanto, os SST constituem um problema.

keywords

Hydrochemistry, water quality, basin, outflow, river Vouga

abstract

The present dissertation focuses on the hydrochemistry and water quality characterization of the river Vouga basin, aiming at evaluating the risks associated with not fulfilling the quality in the caption of Carvoeiro.

The studied section of river Vouga, starts at the estuary of river Zela and it is extended over a length of 40 km, with a catchment area of 417 km², discharging into Carvoeiro, where exists a water supplying system to the regional scale.

In the studied basin's area, 15 sampling points had been detected, taking into account the accessibility and, essentially, the representation of distribution of possible polluting sources. Additionally, sampling points were retrieved in the main section of river Vouga and also on its main tributaries, particularly in river Mau, river Teixeira, river Varoso and river Zela.

The measured parameters "*in situ*" were the temperature, the dissolved oxygen, the conductivity, the turbidity, the phycocyanin and the chlorophyll. For laboratory analysis, water samples were collected aiming at analyzing the following pointers of quality of the water: total and volatile suspended solids, ammonia, BOD₅, nitrates total and water-soluble phosphorus and, finally, total and organics nitrogen.

In the sampling days, whenever possible, it was measured the outflow in two tributaries of river Vouga, Ribeira da Alombada and river Mau, and also at Carvoeiro (River Vouga). This was one of the main goals of this project, which consists of verifying the relation between the outflow of the river and the pointers of quality of the water mentioned above. For this, it was used a mathematical model EPA-SWMM, to simulates the outflow of the river throughout the studied section, finishing at Carvoeiro.

The results show that the river Vouga basin in the medium reach, presents some pollution problems, particularly in a river stretch between Vouzela and Pessegueiro, and the higher values of nutrients found in Sejães. This deterioration of water quality is closely related to the agricultural activities within the basin, as well to domestic wastewater discharges. With the increase in the flow of the river in April there is an improvement of water quality. However, the SST is a problem.

Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas	viii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do Trabalho.....	2
1.1.1 Propósito do Trabalho.....	2
1.1.2 Objectivos de Estudo.....	2
1.1.3 Plano de trabalho.....	3
1.2 Objectivos de qualidade da água para rios.....	4
1.2.1 Enquadramento legal da Gestão de Recursos Hídricos.....	4
1.2.1.1 Lei da Água (Decreto-Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro)	5
1.2.1.2 Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto.....	6
1.2.1.3 Decreto Lei n.º 152/97 de 19 de Junho	8
1.2.2 A gestão de recursos hídricos ao nível da bacia hidrográfica.....	8
1.2.2.1 O modelo Storm Water Management Model (SWMM)	9
1.2.2.2 O modelo Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources 10	
1.2.2.3 Estudos realizados na área do Médio Vouga.....	11
1.2.3 O Sistema Regional do Carveiro.....	12
2 Bacia hidrográfica do Médio Vouga.....	15
2.1 A área de estudo	15
2.1.1 Localização e Limites.....	15
2.1.2 Caracterização Geológica e Hidrogeológica	16
2.1.3 Hidrografia	18
2.1.4 Climatologia.....	19
2.1.5 Solos e Vegetação.....	21
2.1.5.1 Tipos de solo	21
2.1.5.2 Ocupação do solo e Vegetação	23
2.1.6 Fauna e Flora	25
2.1.7 Caracterização das áreas urbanas da área de estudo.....	26

2.1.7.1	Caracterização Demográfica	28
2.1.8	Infra-estruturas de abastecimento de água e saneamento do Médio Vouga 29	
2.1.8.1	Inventariação dos sistemas de captação de água	30
2.1.8.2	Inventariação dos sistemas de saneamento	31
2.2	Métodos de estudo das bacias e sub-bacias.....	32
2.2.1	Divisão em bacias e sub-bacias	32
2.2.2	Seleção das bacias a estudar.....	36
2.2.3	Caracterização das bacias a estudar.....	37
2.2.3.1	Bacia da Ribeira da Alombada (área florestal).....	37
2.2.3.2	Bacia do Rio Mau (área agrícola / área florestal).....	38
2.2.3.3	Bacia da Ribeira do Pessegueiro (área urbana)	40
2.2.3.4	Bacia da Ribeira da Salgueira (área agrícola)	40
2.2.3.5	Bacia do Rio Teixeira (área florestal).....	41
2.2.3.6	Bacia do Rio Varoso (área florestal / área agrícola).....	43
2.2.3.7	Bacia do Rio Zela (área agrícola)	44
2.2.3.8	Bacia da Ribeira da Ponte de Aiza (área agrícola)	45
3	Simulação de caudais e qualidade da água.....	47
3.1	Características do escoamento superficial.....	47
3.2	Modelo SWMM5	48
3.2.1	Caracterização geral do SWMM5.....	48
3.2.1.1	Simulação de Caudais.....	49
3.2.1.2	Métodos Computacionais	50
3.2.1.3	Simulação da qualidade da água.....	53
4	Métodos de Trabalho.....	55
4.1	Trabalho de campo	55
4.1.1	Saídas de Campo.....	55
4.1.2	Escolha dos parâmetros de qualidade da água a analisar.....	55
4.1.3	Escolha dos locais de medição	57
4.1.3.1	Análise hidroquímica da água para identificar diferenças de qualidade da água	57
4.1.3.2	Identificação de fontes poluidoras	60
4.1.4	Datas das saídas de campo	64
4.1.5	Recolha das amostras.....	65
4.1.6	Medição de caudal	66

4.1.7	Parâmetros medidos no laboratório e métodos usados	67
4.2	Modelo SWMM5.....	68
4.3	Obtenção dos dados de entrada do modelo SWMM5.....	70
4.3.1	Dados de Precipitação.....	70
4.3.2	Parâmetros das bacias e sub-bacias	71
5	Apresentação de resultados.....	75
5.1	Resultados de qualidade da água	75
5.1.1	Amostragem realizada em 23 de Novembro de 2007	75
5.1.2	Amostragem realizada em 23 de Janeiro de 2008.....	76
5.1.3	Amostragem realizada em 25 de Fevereiro de 2008.....	78
5.1.4	Amostragem realizada em 15 e 16 de Abril de 2008.....	79
5.1.5	Amostragem realizada em 22 e 23 de Julho de 2008	81
5.2	Aplicação do modelo SWMM5 para determinar caudais.....	82
5.2.1	Resultados da medição de caudais no campo.....	82
5.2.2	Estimativa dos parâmetros de caracterização das bacias.....	82
5.2.3	Simulação dos Caudais	87
5.3	Evolução temporal dos resultados.....	90
5.3.1	Bacias em que predomina a floresta.....	91
5.3.1.1	Bacia da ribeira da Alombada	91
5.3.1.2	Bacia do rio Teixeira	92
5.3.2	Bacia mista Floresta e Agrícola	93
5.3.2.1	Bacia do rio Mau.....	93
5.3.2.2	Bacia do rio Varoso.....	94
5.3.3	Bacias em que predominam áreas agrícolas	95
5.3.3.1	Bacia da ribeira da Salgueira	95
5.3.3.2	Bacia da ribeira da ponte de Aiza	96
5.3.3.3	Bacia do rio Zela.....	97
5.3.4	Bacia em que predominam áreas urbanas.....	98
5.3.4.1	Bacia da ribeira de Pessegueiro	98
5.3.5	Rio Vouga.....	99
6	Qualidade da Água e relação com o caudal	101
7	Considerações finais e conclusões	109
	Bibliografia.....	111
	Anexos.....	115
	Anexo A: Caracterização das sub-bacias.....	115

Anexo A1: Percentagens de impermeabilização das principais sub-bacias.....	115
Anexo A2: Produção diária de azoto e percentagem de área agrícola.....	120
Anexo B: Resultados Hidroquímicos.....	120
Anexo B1: Resultados de qualidade da água obtidos nas saídas de campo...	120
Anexo B2: Determinação da clorofila <u>a</u>	128
Anexo C: Modelo SWMM5.....	131
Anexo C1: Comparação entre os caudais medidos e os caudais simulados....	131
Anexo C2: Descrição dos componentes do modelo SWMM5.....	132
Anexo C3: Caracterização do tipo e uso do solo.....	138
Anexo C4: Representação no modelo e dados de entrada das sub-bacias do Médio Vouga.....	141

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Localização da bacia do Médio Vouga Direito. [22].....	16
Figura 2.2 – Representação da área de estudo, rio Vouga e principais afluentes.....	19
Figura 2.3 – Tipos de solo em Portugal Continental. [27].....	21
Figura 2.4 – Tipos de solo na área de estudo.	22
Figura 2.5 – Ocupação dos Solos na bacia do Médio Vouga	23
Figura 2.6 – Distribuição dos usos do solo no Médio Vouga direito. [28].....	24
Figura 2.7 – Divisão da bacia do rio Mau em sub-bacias usando o método de <i>Pfaffstetter</i> . Digitalização do mapa trabalhado.....	34
Figura 2.8 - Divisão em sub-bacias das bacias estudadas.....	35
Figura 3.1 - Visão conceptual do fenómeno de escoamento utilizado pelo SWMM5. [38]	50
Figura 3.2 - Esquematização do modelo de águas subterrâneas de duas zonas, utilizado pelo SWMM5. [38]	52
Figura 4.1 - Bacia hidrográfica do rio Vouga. Localização dos pontos de amostragem escolhidos para determinar o estado característico das sub-bacias.....	58
Figura 4.2 – Bacia hidrográfica do rio Vouga. Localização dos pontos escolhidos para avaliar descargas poluentes	61
Figura 4.3 – Recolha de amostras	66
Figura 4.4 – Medição do Caudal	67
Figura 5.1 – Evolução dos parâmetros da qualidade da água nos vários pontos de amostragem, no dia 23 de Novembro de 2007	76
Figura 5.2 – Evolução dos parâmetros de qualidade da água, nos vários pontos de amostragem, no dia 23 de Janeiro de 2008.....	77
Figura 5.3 – Evolução dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de amostragem, no dia 25 de Fevereiro de 2008	78
Figura 5.4 – Evolução dos parâmetros de qualidade da água nos vários pontos de amostragem, nos dias 15 e 16 de Abril de 2008.....	80
Figura 5.5 – Resultados obtidos da análise de qualidade da água, para avaliar riscos de poluição associados a descargas poluentes.....	81
Figura 5.6 – Comparação entre os dados medidos e os dados simulados para as diferentes datas, na ribeira da Alombada.....	87

Figura 5.7 – Comparação entre os dados medidos e os dados simulados para as diferentes datas, no rio Mau	87
Figura 5.8 – Representação gráfica dos caudais da bacia da ribeira da Alombada	88
Figura 5.9 – Representação gráfica dos caudais da bacia do rio Mau.....	88
Figura 5.10 – Evolução do Caudal ao longo do Rio Vouga.....	90
Figura 5.11 – Caudal na bacia da ribeira da Alombada simulado no SWMM5.....	91
Figura 5.12 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira da Alombada, nos dois pontos de amostragem	91
Figura 5.13 – Evolução do caudal na bacia do rio Teixeira.....	92
Figura 5.14 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Teixeira	92
Figura 5.15- Evolução do caudal na bacia do rio Mau	93
Figura 5.16 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Mau, nos dois pontos de amostragem	93
Figura 5.17 – Evolução do caudal na bacia do rio Varoso	94
Figura 5.18 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Varoso, nos dois pontos de amostragem	94
Figura 5.19 – Evolução do caudal na bacia da ribeira da Salgueira.....	95
Figura 5.20 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira da Salgueira.....	95
Figura 5.21 – Evolução do caudal na bacia da ribeira da ponte de Aiza.....	96
Figura 5.22 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira da ponte de Aiza	96
Figura 5.23 – Evolução do caudal na bacia do rio Zela	97
Figura 5.24 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Zela.....	97
Figura 5.25 – Evolução do caudal na bacia da ribeira de Pessegueiro.....	98
Figura 5.26 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira de Pessegueiro	98
Figura 5.27 – Evolução do caudal ao longo do Médio Vouga	99
Figura 5.28 – Resultados de qualidade da água, nos pontos de amostragem ao longo do Médio Vouga	99

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- População e área total dos concelhos e respectivas freguesias abrangidas pela área de estudo. Dados do Instituto Nacional de Estatística, Censos 2001.....	28
Tabela 2.2 – Áreas e Perímetros das bacias do Médio Vouga. Informação obtida no arcGis da delimitação das bacias.....	36
Tabela 2.3 - Divisão em sub-bacias da bacia da Alombada.....	38
Tabela 2.4 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Mau.....	39
Tabela 2.5 – Divisão em sub-bacias da bacia da ribeira do Pessegueiro.....	40
Tabela 2.6 – Divisão em sub-bacias da bacia da ribeira da Salgueira.....	41
Tabela 2.7 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Teixeira.....	41
Tabela 2.8 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Varoso.....	43
Tabela 2.9 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Zela.....	44
Tabela 2.10 – Divisão em sub-bacias da bacia da ribeira da Ponte de Aiza.....	45
Tabela 4.1 – Locais de Amostragem, suas coordenadas e altitude.....	58
Tabela 4.2 – Identificação dos pontos de observação e recolha de amostras e suas coordenadas.....	61
Tabela 4.3 – Locais de amostragem, datas e horas de recolha.....	64
Tabela 5.1 – Resultados da medição de Caudais em 2007/2008.....	82
Tabela 5.2 – Parâmetros de entrada no modelo SWMM5, nas bacias da área de estudo (bacia 1-9).....	85
Tabela 5.3 - Parâmetros de entrada no modelo SWMM5, nas bacias da área de estudo (bacia 10-18).....	86
Tabela 5.4 – Valores dos caudais simulados pelo SWMM5 nas datas em que foi feita a recolha de amostras para análise da qualidade da água, nas bacias em estudo.....	89

Lista de Abreviaturas

BASINS – Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio

DL – Decreto-Lei

DRA – Direcção Regional do Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

FFD – Ferro Fundido Dúctil

GIS – Sistema de Informação Geográfica

IGEOE – Instituto Geográfico do Exército

INE – Instituto Nacional de Estatística

INSAAR – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais

PBHV – Plano da Bacia Hidrográfica do Vouga

PDM – Plano Director Municipal

PEASSAR II – Plano Estratégico de Abastecimento de Águas e Saneamento de Águas Residuais

PNBEPH – Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico

SCCC – Sistema Centralizado de Comando e Controlo

SCS – Soil Conservation Service

SMAS – Serviços Municipalizados de Água e Saneamento

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SRC – Sistema Regional do Carvoeiro

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

SWMM5 – Stormwater Management Model Version 5

TMPL – Cargas Totais Máximas Diárias

UHH – Unidade Hidrológica Homogénea

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado

1 Introdução

“Não há vida sem água. A água é um bem precioso indispensável a todas as actividades Humanas” [1]

A premissa de que os recursos hídricos não são inesgotáveis, salienta a necessidade de preservá-los, controlá-los e aumentar os recursos disponíveis. Devido até há bem pouco tempo a água ser considerada como um bem inesgotável, fez com que esta tenha sido desperdiçada e os rios transformados em vazadouros de toda a espécie de resíduos, geralmente sem qualquer tipo de tratamento ou cuidado com a sua preservação. Isto aconteceu devido à falta de sensibilização e de consciencialização ou por escassez de meios financeiros, principalmente nos países em desenvolvimento. Mesma nos países desenvolvidos, onde a gestão da água é mais rigorosa, a legislação nem sempre é respeitada. [2]

Apesar da quantidade de água na Terra não se alterar, a água presente nos diversos ambientes está em constante movimento, circulando numa rede complexa de fluxos conhecidos como Ciclo Hidrológico ou Ciclo da Água. Este processo de recirculação evidencia a ideia comum de a água ser um recurso inesgotável por se renovar constantemente, o que não é absolutamente verdade. A água doce utilizável representa menos de um por cento da quantidade de água do nosso planeta e está repartida muito desigualmente. É portanto indispensável conhecer os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, tendo em conta o ciclo da água, a sua qualidade e a sua utilização. [1]

A par dos factores quantitativos, a qualidade da água representa um aspecto fundamental, dados os elevados níveis de poluição que actualmente se verificam e que comprometem os ecossistemas, a saúde humana, e os usos múltiplos da água, aumentando as pressões económicas locais e regionais sobre os recursos hídricos.

Em Portugal, a quantidade da água não constitui um factor limitante à utilização dos recursos hídricos. No entanto, a qualidade da água constitui um problema grave no território português, devido ao nível do consumo humano, resultante da progressiva degradação dos recursos hídricos, traduzindo os efeitos do crescimento e concentração da indústria e da população. Na origem dos níveis de poluição destacam-se os baixos níveis de saneamento e tratamento de águas residuais, a ineficácia da fiscalização e

aplicação de coimas a indústrias poluentes, assim como a utilização excessiva de fertilizantes e pesticidas na agricultura. [3]

As medidas para minimizar a degradação da qualidade da água, controlando a eutrofização, devem ser aplicadas tanto às fontes pontuais como às fontes difusas. No que diz respeito às fontes pontuais, devem ser removidas as cargas de matéria orgânica e de nutrientes (N e P) antes da descarga. Quanto às fontes de poluição difusa esta requer a aplicação de Boas Práticas de Gestão às actividades agrícola e florestal. [4]

As águas subterrâneas e as águas superficiais devem ser preservadas contra a poluição resultante das vastas quantidades hoje em dia rejeitadas pela sociedade moderna. A água na natureza é um meio que suporta organismos benéficos que contribuem para manter a sua qualidade. Quando se polui a água, corre-se o risco de destruir esses organismos, desorganizando o processo de auto-depuração, com a consequente perturbação do equilíbrio dos ecossistemas fluviais. Torna-se por isso vital que estes recursos de água doce sejam avaliados e protegidos conciliando-os com as necessidades de água para as actividades humanas. [1]

A bacia hidrográfica do Médio Vouga, constitui um exemplo das relações complexas que existem entre as actividades humanas e os seus efeitos, sendo portanto, objecto de estudo da presente dissertação.

1.1 Enquadramento do Trabalho

1.1.1 Propósito do Trabalho

Este trabalho foi elaborado com o propósito de verificar a qualidade do rio Vouga ao longo do troço do Médio Vouga até chegar ao Carvoeiro para fazer uma avaliação de riscos de incumprimento da qualidade na captação do Carvoeiro. Estudar-se-á a relação existente entre o caudal do rio em quatro alturas do ano diferentes, com a qualidade da água do mesmo.

1.1.2 Objectivos de Estudo

Os objectivos fundamentais a alcançar nesta dissertação são os seguintes:

Identificar os parâmetros hidroquímicos e as fontes poluentes que são mais importantes para avaliar o estado da qualidade da água nas sub-bacias do Médio Vouga.

Obter os dados necessários para aplicar um modelo hidrológico e de qualidade da água às sub-bacias do Médio Vouga.

Aplicar e calibrar modelos para a simulação dos caudais nos rios de forma a analisar a relação entre caudal e qualidade da água.

Aplicar na avaliação de riscos de incumprimento da qualidade na captação do Carvoeiro (contribuição para um plano de segurança da água).

Desenvolver uma base de dados com as fontes poluentes.

1.1.3 Plano de trabalho

A presente dissertação além do trabalho de pesquisa e de adaptação do modelo SWMM5, envolveu também trabalho de campo em que se recolheram amostras de água em pontos específicos. Posteriormente foi feito trabalho em laboratório para analisar as amostras recolhidas. As etapas do trabalho que suporta esta dissertação incluíram:

- A primeira fase do trabalho consistiu na familiarização da área em estudo e na identificação de centros urbanos de interesse e zonas industriais, assim como dos principais afluentes do rio Vouga, para com base nesta informação fazer a escolha dos pontos de amostragem. Esta informação foi obtida basicamente através de mapas e também relatórios, artigos e publicações já existentes sobre a área. Na escolha dos pontos também se teve em linha de conta as acessibilidades e principalmente a sua representatividade na caracterização da bacia.
- Depois de escolhidos os pontos, procedeu-se à segunda etapa que correspondeu aos trabalhos de campo. Realizaram-se quatro saídas de campo com intervalos mais ou menos regulares de um mês, começando com 11 pontos e acabando com 15, em que se efectuaram medições “*in situ*”, nomeadamente temperatura, oxigénio dissolvido, condutividade, turbidez, ficocianina e clorofila e se recolheram amostras de água superficial para posterior análise. Além disso também se mediram caudais, quando tal se justificou e foi possível. A metodologia detalhada desta etapa encontra-se descrita no Ponto 4.1.1. Além destas quatro saídas para recolha de amostras foi efectuada uma quinta saída adicional, com o objectivo de identificar e observar mais de perto fontes de poluição (por vezes camufladas), estado de funcionamento de algumas ETAR's (Estação de Tratamento de Águas Residuais), e numa visão mais geral, observar o estado de conservação e a

qualidade de diversos afluentes do Vouga e do próprio rio Vouga. Nesta saída, também se fez amostragem de águas superficiais mas foram medidos menos parâmetros. A metodologia aplicada nesta saída de campo é descrita no ponto 4.1.3.2.

- A terceira etapa consiste no trabalho de laboratório em que se analisou os seguintes parâmetros indicadores da qualidade da água: sólidos suspensos totais e voláteis, amónia, carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), nitratos, fósforo total e solúvel, azoto total e azoto orgânico e clorofila a. A metodologia usada nesta etapa encontra-se descrita no Ponto 4.1.7.
- A quarta etapa corresponde ao trabalho de obtenção de parâmetros de entrada do modelo de simulação de caudais que foi aplicado, o Storm Water Management Model desenvolvido pela Environmental Protection Agency (SWMM5 – EPA). Os parâmetros requeridos para aplicar o modelo foram obtidos a partir da caracterização fisiográfica, hidrológica e do tipo e uso do solo nas sub-bacias. Após a calibração, o modelo foi usado para simular os caudais médios diários nos rios. Os métodos aplicados são descritos no Ponto 4.3 e os resultados obtidos com o modelo são apresentados no Ponto 5.2.2.
- Por fim a quinta etapa, que pertence à elaboração da dissertação, contou com o tratamento e interpretação dos resultados obtidos, apresentados no Ponto 5.3. e no Capítulo 6 da Discussão dos resultados. Para a escrita da dissertação foi usado a Microsoft Word e para o processamento da informação obtida através da análise físico-química das amostras foi a Microsoft Excel, assim como os gráficos usados.

1.2 Objectivos de qualidade da água para rios

1.2.1 Enquadramento legal da Gestão de Recursos Hídricos

Devido ao estabelecimento de metas relativas à qualidade das águas superficiais e subterrâneas, pela União Europeia, todos os países da comunidade Europeia têm até ao ano de 2015 para estabelecer procedimentos capazes de tratar eficazmente todas as suas águas residuais.

Actualmente, em Portugal, está em vigor o PEAASAR II, Plano Estratégico de Abastecimento de Águas e Saneamento de Águas Residuais, para o período de 2007-2013. Este foi aprovado através do Despacho 2339/2007 do Ministro do Ambiente,

Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, publicado em Diário da República 2.^a Série a 14 de Fevereiro de 2007. Este novo Plano Estratégico dá continuidade aos objectivos do PEAASAR I, referente ao período 2000-2006, nomeadamente garantindo o acesso da população a sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais. Em complemento à estratégia então adoptada, cuja linha de orientação se centrou especialmente no desenvolvimento dos sistemas integrados em alta, o PEAASAR II concentra-se, entre outros aspectos, nos sistemas em baixa. Está previsto um enfoque especial para os investimentos que visem a articulação entre os sistemas em alta com a vertente em baixa. Para este efeito o novo Plano preconiza parcerias entre o Estado e as autarquias tendo em vista a integração das baixas municipais em sistemas multimunicipais existentes ou a criar. O plano visa também criar condições para a cobertura integral dos custos destes serviços, como forma de garantir a sustentabilidade do sector enquanto obrigação imperiosa perante as gerações futuras. [5]

De seguida, será feita uma breve descrição dos documentos legislativos que contribuem para a monitorização e Gestão do Recursos Hídricos em Portugal, e que dão enquadramento ao estudo efectuado.

1.2.1.1 Lei da Água (Decreto-Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro)

A Lei da Água, veio transpor para a ordem jurídica nacional a Directiva - Quadro da Água (Directiva n.º 200/60/CE de 23 de Outubro) e estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Como se encontra definido no Artigo 1.º esta lei tem por objectivo fazer antes de mais o enquadramento para a gestão das águas interiores, de transição e costeiras, e das águas subterrâneas a fim de evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos, e ecossistemas terrestres e zonas húmidas dependentes dos ecossistemas aquáticos no que diz respeito às necessidades de água.

Além disso, com base nesse enquadramento pretende também promover uma utilização sustentável da água, baseada numa protecção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis, obter uma protecção reforçada e um melhoramento do ambiente aquático, assegurar a redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar o agravamento da sua poluição, mitigar o efeito das inundações e das secas, assegurar o fornecimento em quantidade e qualidade de água de origem superficial e subterrânea, conforme

necessário para uma utilização sustentável, equilibrada e equitativa da água, proteger as águas marinhas, incluindo as territoriais e por fim, assegurar o cumprimento dos objectivos dos acordos internacionais pertinentes, incluindo os que se destinam à prevenção e eliminação da poluição no ambiente marinho. [6]

A monitorização dos recursos hídricos, segundo a Directiva – Quadro, tem essencialmente duas finalidades. A primeira consiste na avaliação do estado das águas, sendo designada de monitorização de vigilância. A segunda, consiste na determinação do estado dos meios hídricos identificados como susceptíveis de não cumprirem os objectivos ambientais e a evolução do seu estado em resultado da aplicação dos programas de medidas. [7]

1.2.1.2 Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto

Este Decreto-Lei resulta da revisão do Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de Março no sentido de reforçar a operacionalidade dos objectivos visados neste diploma e resolver a incorrecta transposição das várias directivas comunitárias relativas à qualidade da água.

Este diploma tem por objectivos fulcrais a protecção da saúde pública, a gestão integrada dos recursos hídricos e a preservação do ambiente. Pretende-se também com este diploma legal clarificar as competências das várias entidades intervenientes no domínio da qualidade da água, tentando ao mesmo tempo conciliar esta matéria com alterações legislativas que ocorreram após a sua entrada em vigor.

Tendo como principal finalidade a protecção do meio aquático e a melhoria da qualidade das águas em função dos seus principais usos, o referido diploma estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade e além disso define os requisitos a observar na utilização das águas para os seguintes fins: águas para consumo humano onde se incluem as águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano e águas de abastecimento para consumo humano; águas para suporte de vida aquícola onde se incluem as águas doces superficiais para fins aquícolas (águas piscícolas), as águas do litoral e salobras para fins aquícolas (águas conquícolas) e águas do litoral e salobras para fins aquícolas (águas piscícolas); águas balneares e por fim águas de rega.

As Secções I e II do Capítulo II do presente diploma referem-se às águas superficiais e subterrâneas, respectivamente, destinadas à produção de água para consumo humano e visam a sua protecção e a melhoria da sua qualidade

Conforme no Artigo n.º 6 (Águas Superficiais) e Artigo n.º 14 (Águas Subterrâneas), o inventário e a classificação das águas superficiais e subterrâneas em função da sua aptidão são responsabilidade da Direcção Regional do Ambiente (DRA), em colaboração com o Instituto da Água (INAG) e, no caso das águas subterrâneas, com o Instituto Geológico e Mineiro (IGM).

Consoante a sua qualidade, as águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano são classificadas na categoria A1, A2 e A3, de acordo com as normas de qualidade fixadas no anexo I, a que correspondem esquemas de tratamento tipo distintos, definidos no anexo II, para as tornar aptas para consumo humano. Por conseguinte, as águas superficiais classificadas na categoria A1 requerem apenas tratamento físico e desinfeção, na categoria A2 requerem tratamento físico, químico e desinfeção e na categoria A3 requerem tratamento físico, químico de afinação e desinfeção.

De acordo com o Artigo n.º 7 sobre normas de qualidade, é a Direcção Regional do Ambiente (DRA) a entidade territorialmente competente, que fixa, para todos os locais de colheita de amostras, os valores aplicáveis às águas superficiais quanto aos parâmetros indicados no anexo I, designando-se de valores normativos. Deste modo, para cada uma das categorias existe um VMR (valor máximo recomendado) e um VMA (valor máximo admissível). O VMR é o valor da norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido, e o VMA é o valor da norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado.

A verificação da conformidade (Artigo n.º 8), também compete à Direcção Regional do Ambiente (DRA) que efectua a determinação da qualidade das águas superficiais, tendo em conta a norma de qualidade fixada, utilizando para o efeito os métodos analíticos de referência do anexo III e respeitando as valores indicados nas colunas correspondentes aos limites de detecção, precisão e exactidão. No que diz respeito à frequência anual mínima de amostragem e de realização das determinações analíticas, esta é função da categoria das águas superficiais e dos grupos de parâmetros de qualidade conforme constam dos anexos IV e V. As amostras devem ser colhidas sistematicamente num mesmo local, próximo do local da captação e em intervalos de tempo regulares e tendo presente a variabilidade sazonal.

Segundo o Artigo n.º 9, sobre Planos de Acção e de Gestão, apenas as águas superficiais cuja qualidade seja igual ou superior à categoria A3 podem ser utilizadas para produção de água para consumo humano. No entanto, na falta de alternativas

técnicas ou economicamente viáveis, desde que devidamente autorizado pela DRA e que a água seja sujeita a um processo de tratamento adequado, água com qualidade inferior à categoria A3 pode ser usada para produção de água para consumo humano. [8]

1.2.1.3 Decreto Lei n.º 152/97 de 19 de Junho

O Decreto Lei n.º 152/97 de 19 de Junho veio regulamentar os requisitos para a descarga de águas residuais urbanas introduzindo objectivos de tratamento, incluindo a remoção de nutrientes, tendo em vista controlar os processos de eutrofização. Nesse sentido, foi introduzido o conceito de zona sensível à eutrofização como sendo massas de água susceptíveis de se tornarem eutróficas. Mais recentemente o DL n.º 149/2004 que altera a lista de zonas sensíveis, delimitou como zona sensível a bacia do rio Vouga desde a nascente até à confluência com o rio Zela. [9]

1.2.1.4 Plano Nacional de Barragens

O Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH) apresenta uma estratégia global para a instalação de novos aproveitamentos hidroeléctricos em que estão contemplados três barragens a construir no rio Vouga: o aproveitamento de Ribeiradio com 110 hm³ de capacidade útil e 70 MW de potência instalada, o aproveitamento de Pinhosão com 68 hm³ de capacidade útil e uma potência instalada de 77 MW e o aproveitamento da Póvoa com uma capacidade total de armazenamento de 45 hm³ e uma potência instalada de 41 MW. Os caudais turbinados do aproveitamento da Póvoa serão reconstituídos na albufeira de Pinhosão e, por sua vez, a reconstituição da água desta albufeira será feita na albufeira de Ribeiradio. [10]

1.2.2 A gestão de recursos hídricos ao nível da bacia hidrográfica

Os estudos ao nível de bacia hidrográfica recorrendo a programas de simulação da quantidade e da qualidade da água cada vez mais sofisticados, requerem a divisão da bacia em sub-bacias.

No que diz respeito à divisão das bacias hidrográficas em sub-bacias ressaltam dois métodos: o método de *Horton-Strahler* e o método de *Pfafstetter*.

Horton (1945), deu um novo impulso no conhecimento a respeito da rede de drenagem, desenvolvendo um método para a sua análise. Desenvolveu um sistema de classificação, ordenação e hierarquização para a rede fluvial que abrange as leis de ordem nos

segmentos fluviais, o número de canais e o número de bifurcações, entre outras. Contudo, as alterações propostas por Strahler (1957) nesse sistema são as mais utilizadas actualmente. Segundo *Horton-Strahler* as linhas de água que não tenham afluente são consideradas de 1ª ordem. Quando duas linhas de 1ª ordem se juntam passa a formar-se um rio de 2ª ordem. Dois rios de ordem n dão lugar a um rio de ordem $n+1$. [11]

Os conceitos desenvolvidos por *Pfaffstetter* são baseados na dimensão das áreas drenadas por sub-bacia hidrográfica e na topologia da rede hidrográfica resultante.

Ao subdividir uma bacia hidrográfica, qualquer que seja o seu tamanho, determinam-se os quatro maiores afluentes do rio principal, em termos de área das suas bacias hidrográficas, que recebem os algarismos pares (2, 4, 6 e 8), de jusante para montante. Os restantes afluentes do rio principal são agrupados nas áreas restantes, denominadas interbacias, que recebem, no mesmo sentido, os algarismos ímpares (1, 3, 5, 7 e 9). Assim, a bacia intermédia 1 consiste na área drenada pelo rio principal entre a foz e a confluência com o efluente 2. A bacia intermédia 3 consiste na área drenada pelo rio principal entre a confluência com o afluente 2 e a confluência com o afluente 4; e assim sucessivamente. A bacia intermédia 9 corresponde à área de cabeceira do rio principal, a montante do afluente 8 e, por definição, terá sempre uma área superior à deste afluente. [12]

1.2.2.1 O modelo *Storm Water Management Model (SWMM)*

O SWMM tem sido aplicado na previsão da qualidade e da quantidade da água proveniente de pequenas bacias urbanas. Tsihrintzis and Hamid (1998) usaram resultados de medições de cargas de BOD₅, sólidos suspensos totais, azoto kjeldahl e chumbo realizadas em pequenas bacias urbanas, para calibrar as simulações de lavagem de poluentes realizadas com o SWMM. O modelo foi previamente calibrado para simular as condições hidrológicas nas bacias utilizando o módulo de simulação de chuvadas representadas por hidrogramas. Esta calibração especificou a área total de drenagem, a área impermeável, o tipo de uso de solo, o tipo de solo, a classe hidrológica de solo, e as características do sistema de drenagem, incluindo o coeficiente de Rugosidade de Manning. Foram também consideradas perdas provocadas pela infiltração, dependentes da condutividade hidráulica do solo saturado, e armazenamento à superfície que foram determinados pelo método de Green-Ampt. A calibração do modelo para simular as cargas de poluentes considerou o número antecedente de dias secos. Para cada poluente foram calculados valores dos coeficientes de acumulação e de lavagem da

superfície em função da altura total de cada chuvada, para que as cargas calculadas com o modelo se aproximassem das cargas medidas. Na calibração verificaram que os parâmetros do modelo mais sensíveis eram a altura de armazenamento em áreas impermeáveis, seguida dos coeficientes de rugosidade de Manning, dos parâmetros de infiltração do método de Green-Ampt e por fim, a altura de armazenamento em áreas permeáveis. Concluíram que a incerteza na previsão da qualidade da água é maior que a incerteza na previsão dos caudais. [13]

1.2.2.2 O modelo Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources

Para desenvolver uma Gestão Integrada dos Recursos Hídricos é requerida a análise dos problemas de qualidade da água ao nível de bacias hidrográficas de grande dimensão integrando os processos hidrológicos com os processos determinantes da qualidade da água. Um sistema de análise adequado para este fim é o BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources), que foi desenvolvido pela EPA (U.S. Environmental Protection Agency's) como sistema de suporte ao estabelecimento de cargas totais máximas diárias (TMDL) para uma massa de água. O BASINS está baseado num Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite processar os vastos conjuntos de dados requeridos. Estes incluem a esquematização das bacias e caracterização do uso e tipos de solo; dados para modelação da precipitação, evaporação, balanço de água em áreas permeáveis e impermeáveis; dados para modelação de escoamento superficial e de escoamento subterrâneo. Os resultados da simulação dos processos hidrológicos são passados ao modelo de qualidade da água QUAL2E, que simula a qualidade da água nos rios. A aplicação do BASINS a bacias fora dos Estados Unidos torna-se bastante complicada devido a não estarem disponíveis os dados requeridos nos formatos adequados. [14]

Tong and Chen (2002) usaram o BASINS para estabelecer uma relação entre o uso do solo e a qualidade da água superficial. A análise estatística dos resultados que obtiveram revelou que havia uma relação significativa entre o uso do solo e a qualidade da água dos rios relativamente às concentrações de compostos de azoto, fósforo e coliformes fecais. A modelação hidrológica e de qualidade realizada com o BASINS revelou que as áreas agrícolas e as áreas urbanas impermeáveis provocam emissões mais elevadas de compostos de azoto e fósforo do que as outras áreas. [15]

1.2.2.3 Estudos realizados na área do Médio Vouga

Para avançar no desenvolvimento de uma gestão integrada na bacia do Rio Vouga, têm sido realizados alguns estudos sobre os problemas de poluição nesta bacia, envolvendo a monitorização da qualidade da água em alguns pontos da bacia do Médio Vouga, a montante do Carvoeiro, onde existe uma importante captação de água que abastece o Sistema Regional do Carvoeiro (SRC).

Silva and Oliveira (2005) identificaram como impacto da poluição no rio Vouga os processos de eutrofização no troço mais a jusante do rio Vouga, de que resulta também a ocasional deterioração da qualidade da água captada no troço médio do Rio Vouga, no Carvoeiro. O estudo consistiu numa análise de dados de concentração de sólidos suspensos totais, CBO_5 , nitratos, fósforo total, e coliformes fecais, obtidos do Sistema de Informação de Recursos Hídricos, num período de amostragem compreendido entre Abril de 2000 e Maio de 2004. Foram ainda amostrados três pontos característicos do Rio Vouga, um no troço mais a montante do Rio Vouga, em Vouzela, outro no médio Curso, junto ao Carvoeiro, e por fim, no troço mais a jusante do Rio Vouga, em São João de Loure. Os resultados mostraram que em Vouzela o rio Vouga está sujeito a uma carga de poluição moderada, mas a qualidade melhora ao longo do rio até ao Carvoeiro. Em S. João de Loure a qualidade da água volta a degradar-se em resultado das cargas transportadas pelo rio Caima e Águeda. Deste modo, o Carvoeiro oferece melhores condições para a captação de água para produção de água para consumo humano. As datas correspondentes aos máximos e mínimos de concentração foram identificados pelas séries temporais medido no Carvoeiro. Os meses com as máximas concentrações de nitrato são Outubro e Novembro, enquanto os meses com mínimos valores ocorreram em Julho e Agosto. Considerando os requisitos de qualidade da água para abastecimento público, o maior problema encontrado no rio Vouga, requerendo medidas de controlo apropriadas foi a elevada concentração de sólidos suspensos e o número de bactérias coliformes fecais. Em ambos os casos, tanto as fontes pontuais como as difusas são a causa das concentrações elevadas. [16]

Através da monitorização da qualidade da água do Rio Vouga junto à captação do Carvoeiro, Silva and Oliveira (2005) classificaram esta água na categoria A2, pelo DL.236/98. Esta classificação foi provocada por alguns valores de azoto amoniacal, coliformes e pH. Foram caracterizadas as condições de operação que envolvem o seu tratamento, armazenamento e transporte tendo-se, deste modo, determinado as dosagens médias anuais de cloro e de cal. Conclui-se que, relativamente à dosagem de

cal, era vantajoso aumentá-la, para reduzir a agressividade da água. Em relação ao cloro, conclui-se ser possível reduzir a dosagem de cloro em cerca de 20%, ou seja, a desinfecção estaria garantida se se adicionasse 1 mg de cloro por cada litro de água a desinfectar. [17]

Silva and Oliveira (2005) desenvolveram um estudo detalhado em que estudaram a variação da qualidade da água do Rio Vouga, ao longo do referido ano. Foram determinadas as concentrações de nutrientes de plantas, de sólidos suspensos e da carência bioquímica de oxigénio, em vários locais ao longo do Rio Vouga, a montante e a jusante do local previsto para a Barragem de Ribeiradio. Os resultados obtidos evidenciaram um aumento de concentração em todos os parâmetros, nos concelhos de São Pedro do Sul, Vouzela e Oliveira de Frades até ao local da barragem em Ribeiradio, documentando a degradação da qualidade da água do Rio Vouga. Em Vouzela verificou-se a ocorrência de números elevados de coliformes fecais e um aumento na concentração de fósforo total, apontando para descargas de água residual urbana, como já tinha sido observado em estudos anteriores. Os autores apontaram a acumulação de sólidos no leito do rio e a libertação de compostos nocivos pelos microrganismos presentes no meio aquático, como os principais problemas da qualidade da água na captação do carvoeiro, salientando a necessidade de medidas de controlo para a redução das cargas orgânicas e de nutrientes que chegam ao Rio a montante do Carvoeiro, para assim minimizar o processo de eutrofização. [18]

1.2.3 O Sistema Regional do Carvoeiro

O Sistema Regional do Carvoeiro (SRC) é um sistema de abastecimento de água à escala regional que abastece água nos concelhos de Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Ílhavo e Murtosa, e está dimensionado para servir cerca de 270000 habitantes, com um consumo médio diário de 30 000 m³ de água. As captações de água no rio Vouga estão localizadas no troço médio do rio Vouga, a montante da confluência deste com o rio Caima. Esta opção baseou-se no facto da qualidade do Rio Caima ser bastante inferior, acabando inevitavelmente por poluir o rio Vouga a jusante das captações. Um outro aspecto a ter em conta na escolha, foi o facto de a montante do carvoeiro, nos concelhos de Vouzela, São Pedro do Sul e Oliveira de Frades existirem diversas fontes poluidoras que emitem águas residuais urbanas e agro-industriais (aviários, destilarias, matadouros e lacticínios) directamente no rio Vouga e que degradam a qualidade da

água, degradação esta que é atenuada ao longo do rio pela auto-depuração que o rio tem para assimilar certos poluentes.

O sistema Regional do Carvoeiro (SRC) foi o primeiro sistema em alta objecto de concessão e tem por objectivo o abastecimento em alta aos concelhos já referidos, através da captação, tratamento, adução até às redes de distribuição a partir do reservatório principal.

No início da sua construção, o sistema de captação do SRC era constituído por dois poços de grande diâmetro, implantados no aluvião do Rio Vouga. Em cada poço foram construídos dois drenos de diâmetro 200 mm e aproximadamente 35 m de comprimento, a 3.5 m de profundidade. Para colmatar a baixa carga hidráulica sobre os drenos e flutuações diárias de altura de água de 15 a 20 cm, procedeu-se à execução de três furos de 450 mm, de valas de recarga e a construção de um açude, que permitiu aumentar a cota de água em cerca de 1 m.

O sistema inclui duas estações elevatórias principais em série, que elevam a água desde a captação até ao Reservatório Principal de Albergaria e por dois sistemas secundários que elevam a água para os reservatórios situados em Mouquim e em Macinhata do Vouga. Além do sistema elevatório também contém um sistema gravítico que transporta a água até aos diferentes reservatórios implantados nos aglomerados populacionais dos concelhos servidos. Esta rede gravítica tem uma extensão de aproximadamente 110 km.

Ao todo fazem parte do SRC: 15 reservatórios, com volumes entre os 200 e 7500 m³, uma Estação de Tratamento de Água (ETA), 3 estações elevatórias, captações constituídas por dois poços e três furos nos aluviões do rio Vouga, 17 000 metros de condutas elevatórias e 73 000 metros de condutas gravíticas de diâmetros DN63 a DN700, em PVC, PRV, Fibrocimento e Ferro Fundido Dúctil (FFD).

Foi também implantado um sistema de telecomando e telegestão, para fazer a gestão e exploração do sistema, denominado Sistema Centralizado de Comando e Controlo (SCCC).

O sistema de tratamento implementado consiste numa redução de agressividade com leite de cal e CO₂ (dióxido de carbono) e uma desinfecção com cloro gasoso.

O controlo da qualidade da água distribuída baseia-se numa estação de monitorização da qualidade da água do rio, a montante das captações que analisa em contínuo os parâmetros de pH, turbidez, condutividade e temperatura, podendo também medir o O₂, potencial redox e amónia. Os dados são enviados para a central. Possui ainda um

laboratório que permite a realização das análises de controlo de qualidade da água captada para dar cumprimento ao disposto no Decreto-lei n.º 236/98 de 1 de Agosto de 1998 relativo à frequência de amostragem e de análise das águas destinadas ao consumo humano. [14] e [19]

2 Bacia hidrográfica do Médio Vouga

2.1 A área de estudo

2.1.1 Localização e Limites

O rio Vouga nasce na serra da Lapa, a cerca de 930 m de altitude e percorre 148 km até desaguar na barra de Aveiro. A sua bacia hidrográfica, com 3645 km² de área, situa-se na zona de transição entre o Norte e o Sul de Portugal, entre as bacias hidrográficas do Douro, a Norte e Mondego, a Sul, sendo limitada pelos paralelos 40°15' e 40°57' de latitude Norte e os meridianos 7°33' e 8°48' de longitude Oeste. É demarcada a Sul pelas Serras do Caramulo e Buçaco e a Norte pelas serras de Leomil, Montemuro, Lapa e Serra de Freita. [20]

A bacia do Rio Vouga possui uma forma alongada, orientada no sentido Este-Oeste e não constitui uma bacia “normal”, com um rio principal bem diferenciado e respectivos afluentes, tratando-se antes de um conjunto hidrográfico de rios que desaguam muito perto da foz do Vouga, numa laguna que comunica com o mar, a Ria de Aveiro. Os rios principais são o próprio Vouga, o Águeda e o seu afluente, Cértima, o Caster e o Antuã, na parte Norte, e o Boco e as Valas de Mira, a Sul.

Os limites físicos da bacia hidrográfica do Rio Vouga não são coincidentes com os limites administrativos. Administrativamente, são quatro os distritos que fazem parte, total ou parcialmente, desta bacia: Aveiro, Viseu, Coimbra e Guarda, num conjunto de 30 concelhos, dos quais 16 são abrangidos apenas parcialmente. [20]

Tendo em conta o Plano da Bacia Hidrográfica do Vouga, na caracterização biofísica, foram definidas cinco unidades hidrológicas homogéneas (UHH) de acordo com os diferentes tipos de morfologia, clima, regime hidrológico e ocupação do solo, inseridas em três grandes unidades hidromorfológicas: Alto Vouga, Médio Vouga e Baixo Vouga. [21].

A área de estudo deste trabalho insere-se no UHH3, que corresponde ao Médio Vouga-Direito. É uma zona que se desenvolve entre São Pedro do Sul e Albergaria-a-Velha, conforme mostra a Figura 2.1.



Figura 2.1 – Localização da bacia do Médio Vouga Direito. [22]

A área de estudo diz respeito a uma sub-região do Médio-Vouga, que engloba os concelhos de S. Pedro do Sul, Vouzela, Oliveira de Frades e Sever do Vouga e algumas freguesias de Vale de Cambra e Águeda. A área considerada está integrada na bacia hidrográfica do Rio Vouga, a segunda maior bacia dos cursos de água que correm exclusivamente em território português.

2.1.2 Caracterização Geológica e Hidrogeológica

As características geológicas dos terrenos que formam uma bacia hidrográfica, constituem o factor determinante que condiciona a possibilidade de armazenamento de água e permitem que ela circule no meio subterrâneo. Deste modo, a geologia desempenha um papel de extrema importância na consideração de unidades hidroclógicas e na definição de formações aquíferas, boas ou pobres, aquíferos, aquíferos, etc. [16]

A área em estudo, do ponto de vista geológico, está inserida no Maciço Hespérico, sendo ocupada por rochas metassedimentares eruptivas, com escassa aptidão aquífera. Estas

rochas dão origem a aquíferos muito pobres, em geral livres, descontínuos, de produtividade muito baixa, sendo comumente designado *crystalino*. [23]

O Maciço Hespérico é o domínio de “rochas duras”, onde a ocorrência e circulação da água se dá através de fracturas, superfícies de diaclasamento ou de xistosidade, quando a rocha se apresenta sã.

Essas funções podem-se dar também entre os poros intergranulares quando há fenómenos de alteração na rocha. Frequentemente coexistem os dois tipos hidráulicos, havendo trocas entre as fracturas e os poros intergranulares. Em consequência, o baixo tempo de contacto água-rocha e a fraca reactividade dos tipos litológicos presentes, determinam a baixa mineralização das águas subterrâneas, normalmente hiposalinas, condutividade eléctrica que raramente ultrapassa 150 S/cm e com pH ligeiramente ácido. [21] e [23]

Na área de estudo predominam os granitóides, os xistos, os grauvaques e alguns quartzitos (de menor expressão). Em sub-domínios localizados ocorrem depósitos de cobertura cujo comportamento hidrogeológico é característico de meios porosos: os depósitos arcósicos e as aluviões. Estes sub-domínios com fracturação aberta constituem áreas mais permeáveis, mais favoráveis hidrologicamente.

Deste modo, tendo em conta critérios geológicos/litológicos, foram considerados no Maciço Hespérico da bacia do Vouga, dois grandes grupos: o grupo das rochas eruptivas (principalmente granitos e tipos litológicos afins); e o grupo das rochas metamórficas e afins (nomeadamente xistos e grauvaques). Os quartzitos são pouco representativos ao nível da bacia. [21] e [23]

Na bacia do Vouga existem terraços aluvionares cuja característica mais importante é a estreita ligação hidráulica Rio/aquífero. Constituem aquíferos livres, limitados por bordos impermeáveis (as duas margens do rio) e por um limite permeável que é o próprio rio.

Quando as captações se encontram em funcionamento, a capacidade de armazenamento é praticamente insignificante face à recarga induzida a partir do rio para o aquífero. A importância primordial destes terraços aluvionares reside no facto de proporcionarem a instalação de captações de grande produtividade para abastecimento público. Na bacia do Vouga, na área de estudo, o aproveitamento mais importante é a captação do Carvoeiro num terraço do Vouga. [23]

2.1.3 Hidrografia

O rio Vouga nasce numa área de planalto do concelho de Sernancelhe, na Serra da Lapa, em que as altitudes variam entre os 800 e 900 m. [18]

Com uma orientação geral Nascente-Poente, o rio percorre declives bastante variáveis, consoante a litologia dos terrenos que atravessa. [20]

O rio Vouga corre, ao longo do percurso, em tipos de vales distintos, podendo ser identificados os seguintes troços:

- um troço do rio que se desenvolve desde as cabeceiras até S. Pedro do Sul, em que a bacia apresenta uma forma relativamente alongada e o rio se desenvolve numa zona de planalto;
- um troço que se desenvolve entre S. Pedro do Sul e Albergaria-a-Velha, em que a bacia experimenta um relevo mais acentuado, de vales encaixados e de elevada densidade de drenagem;
- um troço para jusante do Carvoeiro, que se desenvolve até Cacia, no qual o rio volta novamente a correr em vales abertos, menos declivosos e com leitos de cheias em ambas as margens;
- um troço de rio que se desenvolve entre Cacia e a Barra de Aveiro, correspondente à zona lagunar designada correntemente por Ria de Aveiro. [20]

O troço estudado nesta dissertação é o que se desenvolve entre S. Pedro do Sul e Albergaria-a-Velha, numa extensão de aproximadamente 40 km e uma área de drenagem de 417 km².

Os afluentes abrangidos na área de estudo, de montante para jusante, na margem direita são: o rio Varoso, a ribeira do Covelo, o Rio Teixeira, o rio Arões, o rio Gresso, a ribeira da Salgueira, a ribeira do Pessegueiro e o Rio Mau. Na margem esquerda, os afluentes estudados são o rio Zela, a ribeira da Ponte de Aiza, a ribeira do Preguinho, o rio Frio, o rio Gaia e por fim, a ribeira da Alombada.

Todos estes rios e ribeiras constituem bacias que pertencem à bacia do Médio Vouga abrangida no estudo. Para além destas bacias, ao longo do rio Vouga existem pequenas ribeiras que acompanham o rio Vouga, e que correspondem a quatro interbacias distintas, com é visível na Figura 2.2.

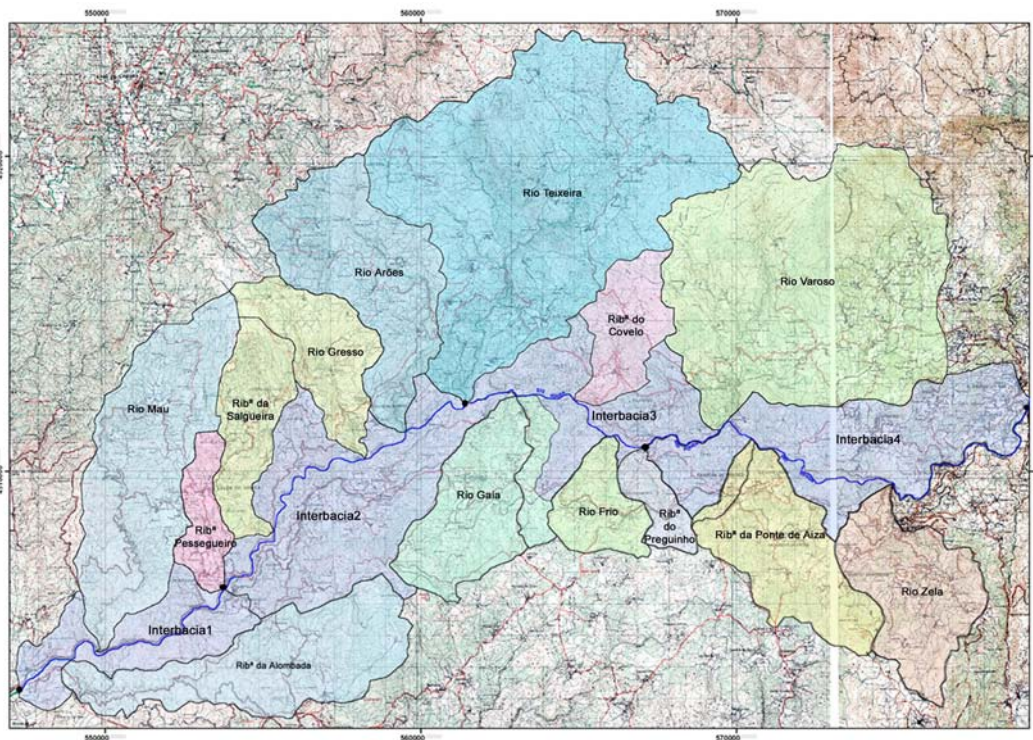


Figura 2.2 – Representação da área de estudo, rio Vouga e principais afluentes.

Os maiores afluentes localizam-se na margem esquerda sendo:

- O rio Varoso, rio estudado mais a jusante, desenvolve-se ao longo de 18 km, e atinge ao longo do seu percurso, um desnível máximo de cerca de 970m.
- O rio Teixeira, cuja sub-bacia é a maior na área do Médio Vouga estudada, conflui com o rio Vouga aproximadamente a 5km a jusante de Sejães. As linhas de água são muito declivosas e encaixadas.
- O rio Mau, de menores dimensões, em termos de bacia hidrográfica e desenvolvimento do curso de água atinge um desnível máximo de cerca de 820m. As linhas de água são muito declivosas e encaixadas apresentando, no entanto, o troço superior relevo de características mais acentuadas.

2.1.4 Climatologia

O clima regional depende da interacção dos diversos componentes como a atmosfera, biosfera, hidrosfera e litosfera. O grau de complexidade destas interacções torna-se

elevado, daí resultando uma forte variabilidade. O clima representa portanto, a média do estado do tempo, ou das condições climatéricas, num período de tempo relativamente extenso, modulado pelo ciclo sazonal.

As condições meteorológicas num dado local são descritas por determinados parâmetros, observados e medidos em estações meteorológicas (pressão atmosférica, temperatura e humidade do ar, radiação solar, insolação, evaporação, direcção e velocidade do vento, características das nuvens e dos meteoros, precipitação, estado do solo ou do mar, etc.). 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 descreve-se através da indicação quantitativa e qualitativa dos parâmetros referidos. [24]

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. O relevo, a proximidade do Oceano e a latitude são três variáveis fundamentais que influenciam o clima de uma região, nomeadamente a distribuição da precipitação. Portugal Continental experimenta temperaturas elevadas, grande insolação e carência de chuva no Verão, principalmente na zona Litoral, devido à influência do clima Mediterrânico e o amenizar das temperaturas e na humidade transportada pelos ventos vindos do Oceano Atlântico, propiciando Invernos moderados, devido às influências marítimas do Atlântico. [24] e [25]

Neste contexto, a bacia do Vouga, apresenta características de um clima mediterrânico, cujo regime pluviométrico se caracteriza por um semestre chuvoso na estação fria, e um semestre seco que corresponde à estação quente. Em relação à distribuição sazonal da precipitação, sabe-se que, em média, 75% se concentra no semestre húmido (Outubro-Março). O mês mais chuvoso é Dezembro, com precipitações médias mensais na ordem dos 200 mm e os meses mais secos são Julho e Agosto, com precipitações médias mensais a rondar os 16 mm. A precipitação média anual ponderada sobre a bacia é 1387 mm, ocorrendo os maiores valores médios anuais na serra do Caramulo e os menores na zona do baixo Vouga Lagunar (1000 mm). [20].

As características do clima de tipo mediterrâneo, em conjunto com a geologia do terreno, fazem com que o regime de caudal do rio Vouga, em particular na área de estudo que é o médio curso do rio Vouga, apresente valores mínimos muito reduzidos (inferiores a $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), enquanto que no inverno ocorrem caudais de cheia superiores a $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. [18]

Em relação à temperatura, a média anual varia entre os 12°C e os 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. [20]

No que concerne à evaporação, esta atinge valores que rondam os 1450 mm/ano na Serra da Muna (Viseu), sendo o valor médio anual sobre a bacia cerca de 1000 mm/ano.

A evapotranspiração potencial média mensal é mínima entre Novembro e Janeiro, variando entre 25 mm em S. Pedro do Sul e 40 mm em S. Jacinto. No mês de Julho a evapotranspiração média mensal é máxima, variando entre 165 mm em S. Jacinto e 200 mm na Serra da Muna. [20]

2.1.5 Solos e Vegetação

2.1.5.1 Tipos de solo

Existe uma relação estreita entre a geologia de uma bacia hidrográfica e o tipo de solo resultante, e que vai determinar a distribuição e o movimento da água nessa mesma bacia. Deste modo, a maior ou menor velocidade do escoamento superficial, resultante das características de solo, condiciona a grandeza das pontas de cheia na rede fluvial bem como os fenómenos de erosão na bacia. [26]

A descrição do tipo de solo na bacia do Médio Vouga seguiu a classificação apresentada no Atlas do Ambiente (IA, 2007), que a seguir se apresenta na Figura 2.3.

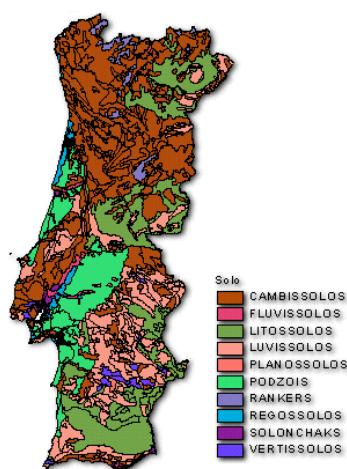


Figura 2.3 – Tipos de solo em Portugal Continental. [27]

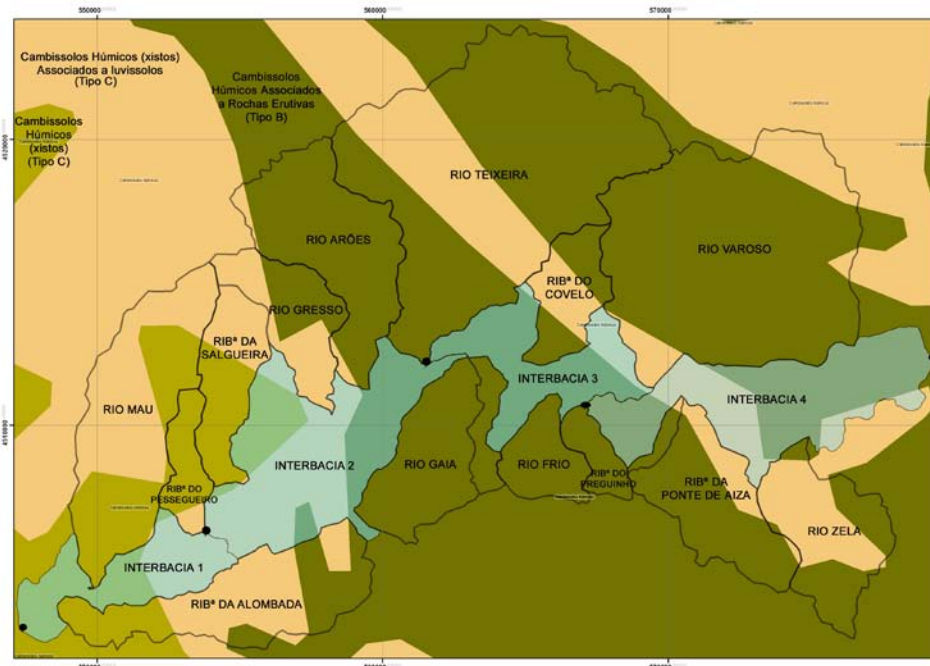


Figura 2.4 – Tipos de solo na área de estudo.

Segundo esta classificação e observando a Figura 2.4, na área da bacia do Médio Vouga estudada, encontram-se três tipos de solo: os Cambissolos Húmicos derivados de xistos, os Cambissolos Húmicos derivados de xistos e associados a Luvisolos de forte influência Atlântica e os Cambissolos Húmicos derivados de rochas eruptivas. Apesar de três tipos distintos, têm em comum o facto de serem os três Cambissolos Húmicos. O termo Cambissolo significa que os solos são condicionados pela sua juventude e são húmicos visto serem ricos em matéria orgânica.

Na área da bacia abrangida no estudo, a maior área corresponde aos Cambissolos Húmicos, associados a rochas eruptivas (fundamentalmente granitos), que pelas suas características são muito mais permeáveis do que os derivados de xistos. Este tipo de solo corresponde ao solo do Tipo B, na classificação do solo por grupo hidrológico. Este tipo de solos encontra-se na área da bacia mais para este, predominando nos rio Arões, Teixeira e Varoso, na margem direita, e nas ribeiras da margem esquerda, com excepção da ribeira da Alombada e do rio Zela onde o tipo de solo varia mais ou menos na mesma proporção entre os Cambissolos Húmicos (xistos) e Cambissolos Húmicos (xistos) associados a Luvisolos, ambos classificados em tipo C. Na margem direita o rio Gresso, a ribeira da Salgueira, a ribeira de Pessegueiro e o rio Mau também apresentam esta distribuição. Os tipos hidrológicos de solo segundo NRCS (National Resources Conservation Service) encontram-se descritos no Anexo C.3.1.

2.1.5.2 Ocupação do solo e Vegetação

Além do tipo de solo, o revestimento vegetal de uma bacia de drenagem e o seu tipo de utilização constituem também um aspecto de extrema importância quando se analisam os fenómenos hidrológicos que ocorrem na bacia, principalmente pela sua influência no escoamento superficial e na infiltração.

Deste modo, nomeadamente a presença de bosques e florestas, ao eliminar o choque directo das gotas de chuva com a superfície do solo e ao modificar as próprias características do solo, favorece a infiltração e reduz a velocidade do escoamento superficial, contribuindo de um modo muito eficaz para a redução dos fenómenos de erosão e de ocorrência de grandes cheias, e para o aumento das reservas hídricas subterrâneas. [28]

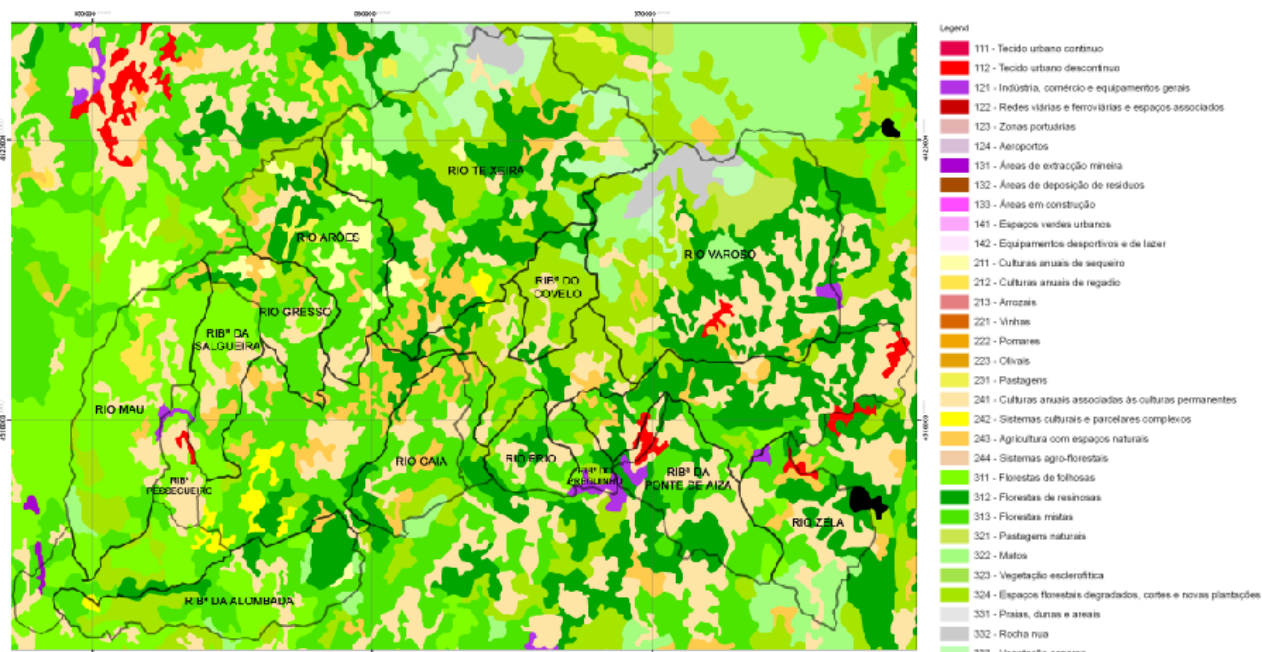


Figura 2.5 – Ocupação dos Solos na bacia do Médio Vouga

De acordo com o Plano da Bacia Hidrográfica do Vouga, cuja análise da ocupação do solo se baseou em três elementos, nomeadamente a Carta de Ocupação do solo de Portugal Continental (CNIG 1:25 000, fotografia aérea de 1990), a Carta CORINE LAND COVER (CNIG 1:100 000, fotografia aérea de 1985), e a Carta com o uso dominante do solo, segundo os PDM (DGOTDU), e observando a Figura 2.5, com a ocupação do solo dividida por sub-bacias, também obtida da Carta CORINE LAND COVER e trabalhada no ArcGis, é possível tirar algumas conclusões acerca de como a área em estudo,

pertencente ao Médio Vouga direito (UHH3), está revestida e utilizada, e com base no Plano comparar com o resto da área da bacia do Vouga abrangida pelo mesmo. Constata-se portanto, a predominância dos espaços florestais ao mesmo tempo que se verificam alterações no que diz respeito aos restantes tipos de ocupação. Neste contexto, verifica-se um aumento percentual dos territórios artificializados e das culturas de regadio em relação à área da bacia do Vouga a montante, designada cabeceiras. Devido ao facto do rio no troço estudado, entrar numa zona de relevo mais acentuado e passar a correr em vales encaixados, a artificialização da paisagem aumenta até porque as culturas de regadio se desenvolvem em socalcos, ao longo das linhas de água, reduzindo o escoamento superficial em benefício da infiltração. As culturas de sequeiro ocupam apenas 4% da área, apesar de, ao nível geomorfológico, as condições para essa prática serem favoráveis. [28]

No plano foi feita uma análise evolutiva em que não só se caracterizou os tipos de ocupação mas se teve em conta também as dinâmicas de evolução da ocupação do solo. Deste modo, concluiu-se que, ao longo deste troço é perceptível a tendência para a progressiva transição das áreas afectas a práticas agrícolas para outro tipo de ocupação, nomeadamente espaços florestais.

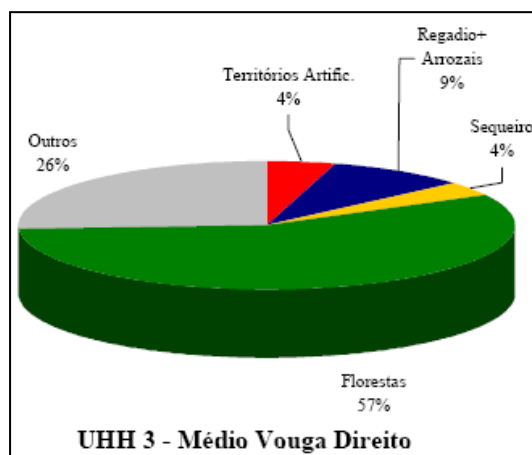


Figura 2.6 – Distribuição dos usos do solo no Médio Vouga direito. [28]

A Figura 2.6 representa a distribuição dos usos do solo no Médio Vouga Direito. São considerados 5 tipos de ocupação dos solos mais importantes:

- Territórios Artificializados – constituídos essencialmente por tecidos urbanos, vias de comunicação e zonas industriais, geradores de poluição tóxica;

-
- Regadio – vulgarmente conotado com uma agricultura intensiva e indutora de poluição agrícola do tipo difuso;
 - Cultura de sequeiro – neste tipo de ocupação a agricultura é do tipo extensivo e de subsistência, em que a erosão é elevada devido ao solos se encontrar nu na época das chuvas mais intensas, associado aos maiores declives;
 - Florestas – englobam as florestas de resinosas e de folhosas. Trata-se de uma ocupação normalmente conduzindo a boas retenções dos escoamentos e potenciadoras de maiores infiltrações. São áreas normalmente não produtoras de poluição quer tónica quer difusa;
 - Outros – dizem respeito a todas as classes de ocupação do solo para as quais não se encontraram padrões de comportamento. [28]

O tipo de solo em conjunto com a informação da ocupação do solo permitem inferir um número de escoamento, o Curve Number, um dos parâmetros de entrada do modelo de simulação de caudais, o SWMM5, como vai ser referido no Ponto 4.3.

Os valores do número de curva para o escoamento (Curve Number) de acordo com o tipo hidrológico de solo e com o tipo de ocupação do solo, segundo SCS (Soil Conservation Service), encontram-se no Anexo C.3.3.

2.1.6 Fauna e Flora

A área de estudo é do ponto de vista ecológico uma região com uma diversidade de ecossistemas apreciável, devido à acção das complexas combinações entre o clima, a geologia e morfologia, e também das múltiplas intervenções do Homem.

Na área de estudo, a composição do coberto vegetal evidencia uma forte influência atlântica, tendendo a predominar o carvalhal caducifólio, designadamente o carvalho-alvarinho (*Quercus robur*). As florestas plantadas que predominam são o pinhal bravo e o eucaliptal, que ocupam sobretudo as zonas montanhosas e submontanhosas de substrato geológico granítico ou xistento. Espécies como amieiros (*Alnus glutinosa*), os choupos (*Populus alba* e *Populus nigra*), os freixos (*Fraxinus angustifolia* subsp. *angustifolia*), os ulmeiros (*Ulmus minor*) e diversos salgueiros (*Salix alba* ssp. *alba*, *Salix atrocinerea* e *Salix. Salvifolia*) e os sabugueiros (*Sambucus nigra*), encontram-se nas margens dos principais cursos da bacia.

Em relação à comunidade faunística, esta é igualmente diversificada, embora irregular na sua distribuição e densidade. De todos os grupos da fauna vertebrada, o grupo das aves é o de maior riqueza específica, com 79 espécie num total de 120 espécies identificadas. Por ordem decrescente, o grupo dos mamíferos contém 20 espécies, o grupo dos anfíbios com 16 espécies e o grupo dos répteis com 5 espécies. Foram também identificadas 23 espécies de peixes, exclusivamente em sistemas dulçaquícolas, sendo a família *Cyprinidae* dominante. Na área estudada podem ser encontrados o escalado-norte, a truta, a pardelha e mais abundantemente o barbo e a boga. De salientar que a existência de açudes no troço do rio Vouga condiciona significativamente as migrações, designadamente do sável e da lampreia. [20]

2.1.7 Caracterização das áreas urbanas da área de estudo

A área de estudo da presente dissertação, engloba os concelhos de Águeda, S. Pedro do Sul, Vouzela, Oliveira de Frades, Vale de Cambra e Sever do Vouga. A área total dos seis concelhos é de 1068.77 km², e a área da sub-bacia é de 416.69 km² (ficheiro Excel_informação ArcGis), sendo que o concelho com maior área dentro do Médio Vouga é o de S. Pedro do Sul e o concelho que apresenta menor área é Águeda. Esta redução da área deve-se ao facto de algumas freguesias dos concelhos não drenarem os seus efluentes para o rio Vouga nesta região, estando estas inseridas em outras sub-bacias (rio Alfusqueiro, rio Alcofra, rio Caima e rio Marnel). Por conseguinte, neste estudo, aquando da referência aos concelhos que integram o Médio Vouga, apenas são incluídas as freguesias consideradas de cada concelho.

O concelho de São Pedro do Sul ocupa uma área de 348.68 km², distribuídos por dezanove freguesias. Segundo dados do I.N.E. (Instituto Nacional de Estatística) de 2001, o concelho tem 19 083 habitantes. As vias de acesso a este concelho são na sua totalidade boas e são elas a EN16, EN227, EN228 e a A25. São Pedro do Sul possui dois parques industriais, um localizado na freguesia de Bordonhos e Carvalhais, designado Parque Industrial do Alto Barro, e outro localizado também em Bordonhos designado Parque Industrial de Bordonhos. Para além da indústria, este concelho tem uma vertente turística devido às Termas de São Pedro do Sul, que são as mais frequentadas da Península Ibérica. [29] As principais linhas de água, na área de estudo, são a ribeira do Covelo, o rio Varoso e o rio Teixeira.

Vouzela é um dos vinte e quatro concelhos do distrito de Viseu, encontrando-se a Vila a 350m de altitude na margem esquerda do rio Vouga, tendo ao seu lado a Serra da Gralheira e à esquerda a Serra do Caramulo. Ocupa uma área de 193.7 km², distribuídos por doze freguesias, e uma população que ronda os 11 916 habitantes. Vouzela está situada em pleno coração da Região de Lafões. A vila é pequena mas está servida por boas vias de comunicação, ligada por camionagem a todo o concelho, possuindo transportes rápidos para os grandes centros. [30] Na área de estudo, as principais linhas de água são o rio Zela.

O concelho de Oliveira de Frades situa-se, conjuntamente com os concelhos de Vouzela e São Pedro do Sul, na sub-região de Lafões. Com uma área de 142 km², uma população de 10 634 habitantes, distribuída por doze freguesias, Oliveira de Frades faz fronteira com Vouzela, São Pedro do Sul e Tondela (distrito de Viseu), e com Águeda, Sever do Vouga e Vale de Cambra (Distrito de Aveiro). Possui um clima temperado atlântico agradável quase todo o ano. A base da subsistência foi, durante séculos, as actividades do sector primário, como a agricultura, a pecuária e a silvicultura. A avicultura constitui hoje um sector vital da economia da região. Beneficiando de uma excelente localização estratégica, entre as cidades da Guarda (Vilar Formoso) e de Aveiro e de fácil acesso às principais vias de comunicação, surgem em Oliveira de Frades nos finais da década de 80, modernas unidades fabris dos mais variados ramos da indústria transformadora. [31] As principais linhas de água, além do rio Vouga são: o rio Gaia, o rio Frio, a ribeira do Preguinho e a ribeira da ponte de Aiza.

O concelho de Sever do Vouga, possui uma população residente de 13 183 habitantes, a qual se distribui economicamente pelos seguintes sectores de actividade: sector primário (7.45%), sector secundário (53%) e sector terciário (39.5%). A existência de uma exploração agrícola de minifúndio, sujeita às vicissitudes do relevo (socialcos), associada à utilização de técnicas agrícolas tradicionais, executadas predominantemente por mulheres, confere-lhe um estatuto de agricultura de subsistência. O sector industrial, com cerca de 53% da população activa é aquele que tem mais importância no contexto do desenvolvimento económico e social, pelo que, novas áreas industriais foram criadas e perspectiva-se a criação de mais três pequenas zonas industriais. As actividades económicas de maior relevo são na área da metalomecânica e serralharia, construção civil, transformação de pedra, seguidas de mobiliário e calçado. No que diz respeito ao sector terciário, verifica-se uma evolução significativa da população activa com cerca de 39.5%, ultrapassando assim o sector I (este prejudicado pelo aumento da emigração e

domínio crescente da mata/floresta). Os principais cursos de água que atravessam o concelho são o rio Vouga, e os afluentes: rio Mau, rio Arões e rio Teixeira. [32] e [33]

2.1.7.1 Caracterização Demográfica

Neste separador será feita uma breve caracterização da distribuição da população nas respectivas freguesias, que em cada concelho se situam na área de estudo, assim como o levantamento das principais actividades económicas.

Os concelhos referidos têm uma população total de 54 816 habitantes residentes, segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), baseada nos valores dos Censos realizados em 2001. Considerando apenas as freguesias que contribuem directamente para a bacia do Médio Vouga a população reduz-se para 37275 habitantes. [34]

Tabela 2.1- População e área total dos concelhos e respectivas freguesias abrangidas pela área de estudo. Dados do Instituto Nacional de Estatística, Censos 2001.

Concelho	Freguesias	Área (Km2)	Habitantes	Densidade Populacional (hab/km2)
Águeda		334.2		
	Macinhata do Vouga	32.98	3581	108.6
Oliveira de Frades		101.52		
	Arcozelo das Maias	21.07	1617	76.7
	Pinheiro de Lafões	22.25	1369	61.5
	Ribeiradio	15.17	1207	79.6
	São João da Serra	12.21	643	52.7
	São Vicente de Lafões	7.78	793	101.9
	Sejães	5.51	249	45.2
	Souto de Lafões	5.76	703	122.0
São Pedro do Sul		279.45		
	Bordonhos	5.15	603	117.1
	Carvalhais	31.89	1762	55.3
	Manhouce	40.53	836	20.6
	Santa Cruz da Trapa	21.29	1389	65.2
	São Cristovão de Lafões	7.11	231	32.5

	Serrazes	16.19	1104	68.2
	Valadares	20.42	1007	49.3
	Várzea	6.37	1499	235.3
Sever do Vouga		129.85		
	Cedrim	8.47	995	117.5
	Couto de Esteves	16.95	1055	62.2
	Dornelas	7.68	662	86.2
	Paradela	9.31	797	85.6
	Pessegueiro do Vouga	16.01	1906	119.1
	Rocas do Vouga	15.71	1977	125.8
	Sever do Vouga	12.36	2728	220.7
	Silva Escura	14.24	1738	122.1
	Talhadas	29.12	1328	45.6
Vale de Cambra		146.21		
	Arões	39.78	1952	49.1
	Junqueira	17.17	1295	75.4
Vouzela		77.54		
	Paços de Vilharigues	8.37	653	78.0
	Ventosa	18.11	921	50.9
	Vouzela	5.17	1485	287.2

De salientar que na presente dissertação ainda foi feita uma caracterização da distribuição da população ao nível de localidades dentro de cada freguesia, para cada sub-bacia, o que faz reduzir ainda mais a população abrangida na área de estudo, uma vez que nem todas as localidades de cada freguesia se incluem na mesma.

2.1.8 Infra-estruturas de abastecimento de água e saneamento do Médio Vouga

As entidades gestoras dos Serviços de Abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais em Portugal, podem ser municípios, cerca de 70% do total, ou Serviços municipalizados, empresas públicas ou de capitais públicos, privadas e municipais ou intermunicipais, ou ainda, em menor escala, associações de municípios e associações de utilizadores.

Maioritariamente, as entidades que servem os Sistemas urbanos do Continente possuem os dois tipos de serviços, sendo que apenas 7% das entidades gestoras efectuam apenas serviços de abastecimento de água. No que diz respeito à drenagem e tratamento de águas residuais, apenas 8% fazem serviço exclusivamente desta natureza.

De seguida será feita uma inventariação destes dois sistemas individualmente, englobada na área de estudo da presente dissertação, o Médio Vouga. [35]

2.1.8.1 Inventariação dos sistemas de captação de água

Segundo dados de 2005 do INSAAR (Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais), estão em uso mais de 7500 captações em Portugal, sendo 96% de origem subterrânea.

O Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Outubro, transpõe para o ordenamento jurídico português a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água para consumo humano. Esta directiva parte do pressuposto de que a água é gerida por uma única entidade gestora, desde a sua captação à torneira do consumidor, razão pela qual centra a verificação do cumprimento dos valores paramétricos na torneira do consumidor.

Na área da Bacia Hidrográfica do Rio Vouga estão contabilizados 393 reservatórios, 21 Estações de Tratamento de Águas (ETA), 238 captações de água para abastecimento público, das quais 71 são de origem superficial e 82 estações elevatórias que incluem os sistemas de bombagem associados a captações subterrâneas (furos).

Será feita de seguida uma identificação das entidades gestoras do sector da água nos quatro principais concelhos da área de estudo, assim como a inventariação das captações por município.

No concelho de Oliveira de Frades a Entidade gestora do sector da água é a Câmara Municipal de Oliveira de Frades. Neste concelho existem pelo menos 8 sistemas de abastecimento público e 13 captações e nenhuma estação de tratamento de água. Está em fase de projecto, para a freguesia de Ribeiradio, um Aproveitamento de Fins múltiplos que tem como objectivo fornecer água para abastecimento público, industrial e regadios e também a produção de energia eléctrica devido à construção de uma central hidroeléctrica junto da barragem. Estima-se que se conseguirá obter uma produção média de cerca de 110 GWh/ano turbinando cerca de 90% das aflúncias.

No concelho de São Pedro do Sul estão contabilizados pelo menos 24 sistemas de abastecimento público, 35 captações e uma estação de tratamento de água. A entidade gestora do sector da água é a Câmara Municipal de São Pedro do Sul. Prevê-se a construção de uma grande captação de água na futura barragem de Pinhosão. Esta construção está prevista para 2010 e irá abastecer quase todo o concelho. Em São Pedro do Sul existe um aproveitamento hidráulico para produção de energia eléctrica, com uma capacidade total de 90 000 m³. Existe também uma mini-hídrica que comporta um volume de 98 000 m³ e produz cerca de 25,28 GWh/ano. Há ainda o caso específico das águas termais que têm uma nascente na freguesia de Várzea, em fracturas, que servem para abastecer as actividades aquícolas.

No concelho de Sever do Vouga estão contabilizados pelo menos 24 sistemas de abastecimento público, 50 captações e uma estação de tratamento. A entidade gestora do sector da água é a Câmara Municipal de Sever do Vouga. As captações existentes nesta área são do tipo furos, poços, galerias e poços com galerias, com produtividades baixas que raramente ultrapassam os 0,5 L/s. As águas utilizadas em regadios têm origem geralmente superficial, recorrendo a açudes e a canais de desvio. Neste concelho existem três aproveitamentos mini-hídricos construídos, dois deles com capacidade de armazenamento de 60 000m³ e produção de 1,25 GWh/ano, um na freguesia de pessegueiro do Vouga e o outro na freguesia de Paradela, o terceiro na freguesia de Talhadas, com capacidade total de 18 000 m³ e produção de 19,65 GWh/ano. Em Sever do Vouga, o nível de abastecimento domiciliário é de cerca de 85%.

São os SMAS (Serviços Municipalizados de Água e Saneamento) de Vouzela a entidade gestora do sector da água, no concelho de Vouzela. Neste concelho existem pelo menos 12 sistemas de abastecimento público, 26 captações e nenhuma estação de tratamento. Na freguesia de Campia existe um aproveitamento mini-hídrico com capacidade total de armazenamento de 100 000 m³ e que apresenta uma produção média anual de cerca de 9,45 GWh/ano.

2.1.8.2 Inventariação dos sistemas de saneamento

O saneamento é um serviço fundamental para a manutenção da saúde humana e para a qualidade do Ambiente.

No Médio Vouga este serviço apresenta algumas lacunas e atrasos em relação aos objectivos estabelecidos pelo PEAASAR II. Uma vez que o Médio Vouga apresenta uma

orografia acentuada e uma população constituída por pequenos aglomerados, a construção de sistemas de saneamento constituem um elevado custo “per capita”. Deste modo, segundo dados do INSAAR (2005), a oferta de saneamento no Médio Vouga é muito reduzida, situando-se nos 20%. Além disso, existe também uma distribuição desigual dos sistemas de saneamento nos quatro principais concelhos da área de estudo.

Em São Pedro do Sul a população servida pelo sistema de saneamento é de 16%. O concelho de São Pedro do Sul é a entidade gestora de uma ETAR multimunicipal situada no concelho de Vouzela (ETAR de Valgode). A ETAR de biodiscos serve uma população total de 5000 habitantes, sendo 3500 pertencentes ao concelho de São Pedro do Sul e 1500 pertencentes ao concelho de Vouzela. Possui ainda seis Fossas Sépticas, das quais duas são em Santa Cruz da Trapa, e uma nas restantes freguesias, Manhouce, Pinho, São Cristóvão de Lafões e Sul. No total servem 991 habitantes.

No concelho de Vouzela todos os efluentes têm origem doméstica e 38% da população é servida pelo sistema de saneamento. Como referido, 1500 habitantes deste concelho são servidos pela ETAR intermunicipal situada neste concelho. Para além deste sistema, existem mais 8 ETAR's, mas nem todos têm o seu efluente tratado a desaguar directamente no troço do Médio Vouga.

Oliveira de Frades tem 23% da população servida pelo sistema de saneamento. No que diz respeito ao tratamento de efluentes líquidos este está dependente de três órgãos para o efeito: a ETAR de Oliveira de Frades, de leitos percoladores que serve uma população de 1832 habitantes; a ETAR da Zona Industrial de Oliveira de Frades (Sequeiro), de lamas activadas; e a Fossa Séptica em Paranho de Arca, que serve 228 habitantes.

No concelho de Sever do Vouga a população servida pelo sistema de saneamento representa 8% da população. Para servir as necessidades do concelho, este tem três ETAR's em funcionamento: a ETAR Municipal no lugar da Arrôta, que faz tratamento secundário por biodiscos e serve 390 habitantes; a ETAR Compacta Intermitente de Soligó, que faz tratamento secundário por lamas activadas e a população servida é de 662 habitantes; e a ETAR Compacta Intermitente da Zona Industrial de Cedrim.

2.2 Métodos de estudo das bacias e sub-bacias

2.2.1 Divisão em bacias e sub-bacias

Uma bacia hidrográfica (ou de drenagem) de um curso de água define-se como a área de terreno, limitada topograficamente pelas linhas de cumeada que a separam das suas

confinantes, no interior da qual toda a água que atinge o solo é interceptada e drenada através de canais de escoamento, para o mesmo ponto.

O contorno de uma bacia hidrográfica é definido pela linha de separação de águas que divide as precipitações que caem na bacia das que caem em bacias vizinhas, e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. A linha de separação de águas segue pelas linhas de cumeada em torno da bacia, atravessando o curso de água somente na secção de referência. Passa pelos pontos de máxima cota entre bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam picos isolados com cota superior. [26]

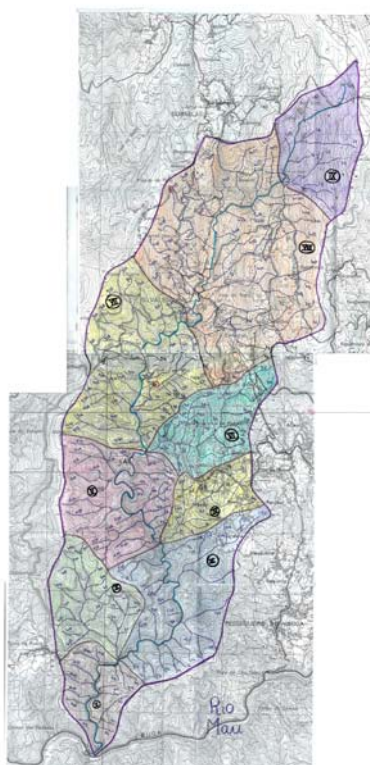
A medida da linha de separação topográfica corresponde ao perímetro da bacia.

Como visto no ponto 2.1.3 acerca da Hidrografia do rio Vouga, na presente dissertação foram estudadas as seguintes bacias: na margem direita, bacia do rio Varoso, bacia da ribeira do Covelo, bacia do rio Teixeira, bacia do rio Arões, bacia do rio Gresso, bacia da ribeira da Salgueira, bacia da Ribeira do Pessegueiro e a bacia do rio Mau, e bacia do rio Zela, bacia da ribeira da Ponte de Aiza, bacia da ribeira do Preguinho, bacia do rio Frio, bacia do rio Gaia e a bacia da ribeira da Alombada, na margem esquerda. De salientar que a margem direita difere um pouco da margem esquerda, não só no relevo acentuado e densidade de drenagem elevada mas também no maior tamanho das bacias.

As bacias foram escolhidas essencialmente pelo comprimento da linha de água principal e também pela sua área. Ao longo do Troço do rio Vouga existem pequenas ribeiras, formadas por cursos de água de menores dimensões, que desaguam directamente no rio Vouga. O troço do rio Vouga, juntamente com as ribeiras, foi dividido em quatro partes, constituindo quatro bacias intercaladas entre as bacias descritas anteriormente.

Para a representação no SWMM5 da área em estudo, para além da divisão nas sub-bacias indicadas, estas foram ainda divididas em sub-bacias menores para uma maior discriminação das várias condições existentes.

Como exemplo da metodologia aplicada na divisão duma bacia em sub-bacias irá ser apresentada a divisão efectuada para a bacia do rio Mau, representada na Figura 2.7.



**Figura 2.7 – Divisão da bacia do rio Mau em sub-bacias usando o método de *Pfaffstetter*.
Digitalização do mapa trabalhado.**

Para cada bacia, foi desenhado um mapa a partir das cartas militares à escala 1:25 000 correspondentes, e delimitou-se a área. Nestes mapas foram marcadas a marcador todas as linhas de água, identificada a linha de água principal e procedeu-se à classificação dos cursos de água segundo o método Horton-Strahler, seguida da extracção das características topológicas e fisiográficas da rede hidrográfica obtida. Foi determinada a área das sub-bacias e medido o comprimento da linha de água principal, utilizando um planímetro digital, KOIZUMI KP-90, e um curvímetro respectivamente. Foi também preparado um mapa em ArcGis com os limites das bacias.

Foram usadas as cartas militares à escala 1:25 000 da área em estudo (folhas 164, 165, 166, 174, 175, 176), O Sistema de coordenadas utilizado foi o Sistema UTM, fuso 29N, Datum WGS84. Para a transformação de coordenadas do Datum Europeu 1950 (ED50) para Datum WGS84 recorreu-se a uma ferramenta de transformação de coordenadas do Instituto Geográfico do Exército (IGEOE). [36]

Também se mediu o comprimento de todas as linhas de água de 1ª ordem e determinou a respectiva cota mínima e máxima, com a finalidade de determinar a inclinação média da bacia pela aplicação da fórmula:

$$\%inclinação = \frac{(Z \text{ max} - Z \text{ min})}{\text{comprimento}} * 100 \quad (1)$$

$$Inclinação \text{ da Bacia} = \frac{\sum \%inclinação}{n.^{\circ} \text{ linhas de água}} \quad (2)$$

Na divisão das bacias em sub-bacias aplicou-se sempre que possível o método desenvolvido por *Pfafstetter*. [12] Trata-se de um sistema baseado na dimensão das áreas drenadas por bacia hidrográfica e na topologia da rede hidrográfica resultante.

Devido à pequena área de muitas das bacias estudadas, não se justificou a divisão em nove sub-bacias; noutros casos a homogeneidade característica não justificava uma divisão em tantas partes. A divisão das bacias em sub-bacias encontra-se na Figura 2.8.

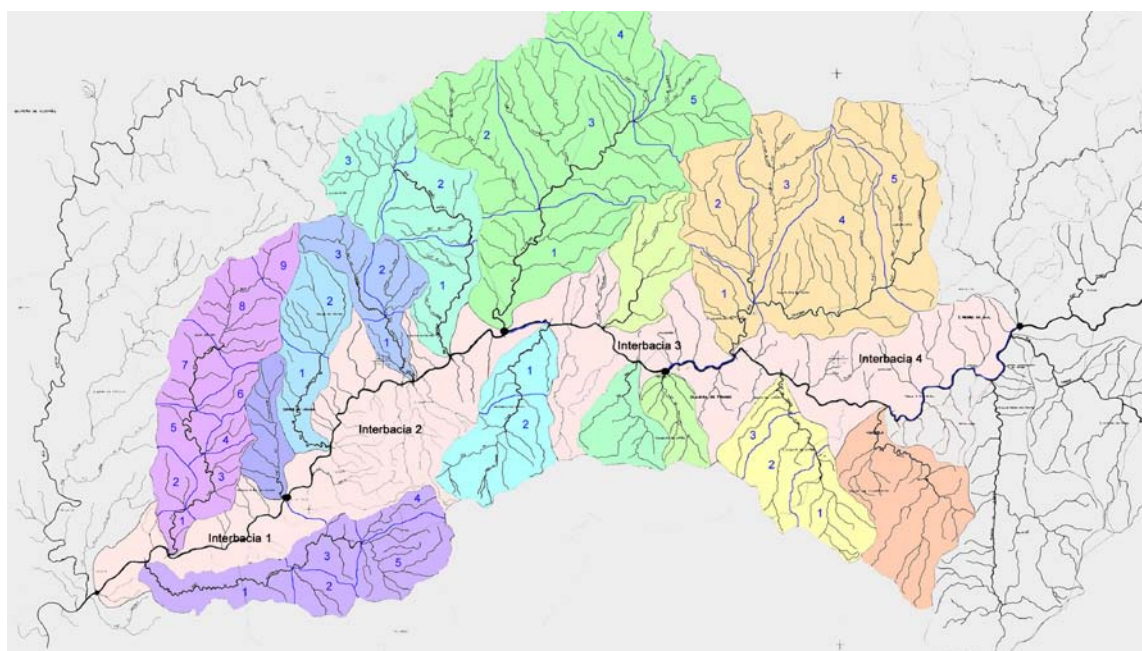


Figura 2.8 - Divisão em sub-bacias das bacias estudadas.

Tabela 2.2 – Áreas e Perímetros das bacias do Médio Vouga. Informação obtida no arcGis da delimitação das bacias

Bacias	Perímetro (km)	Área (km ²)
Rib ^a da Alombada	29.8	23.9
Rio Mau	29.2	30.7
Rib ^a do Pessegueiro	13.1	5.8
Rib ^a da Salgueira	18.2	11.5
Rio Teixeira	44.2	72.7
Rio Varoso	35.7	63.2
Rio Zela	20.9	17.5
Rib ^a da Ponte de Aiza	21.4	17.7
Rio Arões	27.4	24.9
Rib ^a do Covelo	15.7	9.5
Rio Grosso	18.7	12.3
Rio Frio	12.3	7.5
Rib ^a do Preguinho	10.1	4.2
Rio Gaia	19.0	15.7
Interbacia1	25.9	14.4
Interbacia2	38.4	33.6
Interbacia3	32.1	16.6
Interbacia4	37.3	29.9
ribeira (Gaia)	13.0	3.7
ribeira (Aiza)	7.6	1.4
	Área de estudo	416.7

2.2.2 Selecção das bacias a estudar

Apesar de todas as bacias referidas terem sido estudadas, foram seleccionadas bacias para um estudo mais intensivo e detalhado, nomeadamente de montante para jusante, a bacia do rio Varoso, a bacia do rio Teixeira, a bacia da ribeira da Salgueira, a bacia da ribeira de Pessegueiro e a bacia do rio Mau, na margem direita. Na margem esquerda, as bacias estudadas foram a bacia do rio Zela, a bacia da ribeira da Ponte de Aiza, e a bacia da ribeira da Alombada. Esta selecção foi feita com base na representatividade de vários níveis de perturbação e também na acessibilidade para recolher as amostras. De

salientar que quase todas as recolhas de amostras foram feitas através de pontes, visto o acesso ao rio ser muito difícil ou impossível. O objectivo das colheitas de amostras foi fazer a caracterização hidroquímica da água, sendo justificada a escolha dos pontos aquando da explicação da metodologia do trabalho de campo, no Capítulo 4.1.

Tentou-se agrupar estas bacias em três áreas distintas de acordo com o tipo de ocupação predominante. Deste modo, classificaram-se as bacias do rio Mau, da ribeira da Salgueira, da ribeira da Ponte de Aiza e do rio Zela como área predominantemente agrícola, as bacias da Alombada, Teixeira e da ribeira da Landeira (rio Varoso) como área predominantemente florestal e com predominância da área urbana a bacia da ribeira de Pessegueiro e a bacia do rio Varoso (com excepção da ribeira da Landeira). Para cada uma destas sub-bacias foi ainda determinado o número de animais (suínos, bovinos, ovinos, caprinos e galinhas) e a percentagem de área agrícola, para facilitar a escolha do tipo de área. Com o número de animais foi estimada a produção diária em termos de azoto que podem atingir os cursos de água. Estas informações, o número de animais, a percentagem de área agrícola e a produção diária em termos de azoto, encontram-se no Anexo A2.

2.2.3 Caracterização das bacias a estudar

De seguida, irá ser feita uma análise mais detalhada da cada bacia das seleccionadas, que inclui a divisão em sub-bacias, respectivas áreas, perímetros, % de inclinação dos terrenos, freguesias, lugares e número de habitantes, e calculada a densidade populacional. Com base nestas informações e tendo em conta a de ocupação dos Solos será possível justificar a escolha da área de cada uma das bacias.

2.2.3.1 Bacia da Ribeira da Alombada (área florestal)

A bacia da Ribeira da Alombada é classificada como área Florestal. No que diz respeito aos concelhos abrangidos estes são Águeda e Sever do Vouga. Pela observação dos dados da Tabela 2.3 constata-se que a bacia da Ribeira da Alombada tem uma densidade populacional muito baixa que ronda os 25 habitantes por km². Por outro lado, observando a Figura 2.5 da ocupação dos solos, observa-se a predominância das florestas tanto de folhosas, resinosas e mistas. Conjugando estes dois factores, a densidade populacional e o tipo de ocupação, justifica-se a escolha da bacia da ribeira da Alombada como área florestal. De salientar a existência da Zona Industrial de Cedrim, constituída por 35 lotes. Esta zona industrial em crescimento cria riqueza e emprego para

os habitantes do concelho de Sever do Vouga. Está localizada na sub-bacia 2, numa zona de floresta e possui uma ETAR compacta, para tratar os efluentes.

Tabela 2.3 - Divisão em sub-bacias da bacia da Alombada.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	7.08	15.44	29.6	Macinhata do Vouga	Chãs	84	14.1
					Alombada	16	
2	2.97	6.58	29.2				0
3	4.09	8.77	23.1	Paradela	Penouços	127	81.5
					Soutelo	112	
					Cedrim	1/2 Carrazedo	
4	2.76	8.60	22.2	Cedrim	1/2 Carrazedo	93	33.8
5	7.26		21.4	Talhadas	Arcas	38	5.2

2.2.3.2 Bacia do Rio Mau (área agrícola / área florestal)

A bacia do rio Mau é abrangida pelo concelho de Sever do Vouga e a densidade populacional ronda os 85 habitantes por km², desigualmente distribuída pelas sub-bacias. Há deste modo, sub-bacias com elevada densidade populacional, nomeadamente a sub-bacia 4, que engloba quatro localidades da freguesia de Sever do Vouga e que tem uma densidade populacional de 485 habitantes por km² e sub-bacias sem densidade populacional, como é o caso da sub-bacia 1,2 e 5 em que predomina a floresta de resinosas e mista.

O rio Mau, em termos de bacia hidrográfica e desenvolvimento dos cursos de água, atinge um desnível máximo de cerca de 820 metros. As linhas de água são muito declivosas e encaixadas, condicionando o tipo de ocupação em determinadas sub-bacias. Verifica-se portanto um aumento da densidade populacional com a diminuição da percentagem de inclinação dos terrenos, nas várias sub-bacias.

Tabela 2.4 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Mau.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	1.52	4.90	34.2				0.0
2	2.14	5.79	26.7				0.0
3	3.99	9.10	29	Pessegueiro do Vouga	Gândara	75	18.8
4	1.40	4.90	19.6	Sever do Vouga	Mâmoa	159	485
					Paço	160	
					Reguengo	37	
					Senhorinha	323	
5	3.20	6.50	39.4				0.0
6	2.24	6.14	22.2	Sever do Vouga	Zona Industrial de Padrões	19	8.5
7	4.83	8.6	23.9	Silva Escura	Felgares	136	51.8
					Folharido	114	
8	8.94	12.1	22.3	Silva Escura	Bouças	79	159.7
					Carvalhal	83	
					Castelões	115	
					Espinheiro	81	
					Fojo	84	
					Louriçal	35	
					Paço	37	
					Presas	104	
					Quintã	125	
					Romezal	98	
Sequeiros	60						
Silva Escura	311						
Vale da Anta	65						
Vila Fria	151						
9	2.56	6.5	24.1	Dornelas	Rio Bom	43	16.8

2.2.3.3 Bacia da Ribeira do Pessegueiro (área urbana)

A bacia da Ribeira do Pessegueiro é abrangida pelo concelho de Sever do Vouga e pelas freguesias de Pessegueiro do Vouga e Sever do Vouga. A sua densidade populacional é 220 habitantes por km², justificando a escolha desta bacia como área urbana. Tendo em conta a Figura 2.5 de ocupação do solo verifica-se que esta bacia possui um tecido urbano descontínuo, com florestas de folhosas e culturas anuais associadas às culturas permanentes, logo também pode ser associada a uma área agrícola. A ETAR de biodiscos de Sever do Vouga faz o tratamento da água residual do concelho de Sever do Vouga em conjunto com a ETAR compacta de Soligó. A primeira encontra-se inserida na bacia da ribeira de Pessegueiro e nela descarrega os seus efluentes tratados, podendo contribuir para a degradação da qualidade da água no rio Vouga.

Tabela 2.5 – Divisão em sub-bacias da bacia da ribeira do Pessegueiro.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	5.8	12.3	19.3	Pessegueiro do Vouga	Cristelo	250	220.3
					Lomba	192	
					Nogueira	330	
					Paredes	278	
				Ponta e Grela	68		
				Residual	23		
				Sever do Vouga	Cruz do Peso	82	
	Peso	38					
	Pombal	17					

2.2.3.4 Bacia da Ribeira da Salgueira (área agrícola)

A bacia da Ribeira da Salgueira, abrangida pelo concelho de Sever do Vouga, é classificada como área agrícola. Predomina a agricultura de subsistência, executada predominantemente por mulheres que utilizam técnicas agrícolas tradicionais devido às vicissitudes do terreno (socalcos). A densidade populacional na bacia da ribeira da Salgueira é aproximadamente 70 habitantes por km².

Tabela 2.6 – Divisão em sub-bacias da bacia da ribeira da Salgueira.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab.	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	4.86	10.7	30.2	Sever do Vouga	Novelido	54	82.1
					Covelo	84	
				Rocas do Vouga	1/2 Nespereira	85	
					1/2 Portela	65	
					Vila Seca	111	
2	6.75	10.2	27.2	Rocas do Vouga	Borralthal	131	54.2
					Coucinhos	30	
					Nespereira de Baixo	205	

2.2.3.5 Bacia do Rio Teixeira (área florestal)

A bacia do rio Teixeira é nitidamente uma área florestal, uma vez que tem uma densidade populacional muito reduzida que ronda os 35 habitantes por km² e tendo em conta a Figura 2.5 observa-se a presença de uma grande área ocupada por florestas de folhosas, resinosas e mista. A bacia do rio Teixeira é abrangida por três concelhos que são o concelho de Oliveira de Frades, Vale de Cambra e São Pedro do Sul.

A bacia do rio Teixeira é a maior na área do Médio Vouga estudada. As linhas de água são muito declivosas e encaixadas atingindo os 32% de inclinação. A densidade populacional é significativamente maior nas sub-bacias com % de inclinação dos terrenos menor.

Tabela 2.7 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Teixeira.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	14.97	16.38	21.91	Arões	Casal Velide	111	62.5
					1/3 Ervedoso	59	

Estudo da relação entre o caudal e os indicadores da qualidade da água no médio Vouga

					Souto Mau	198	
				Ribeiradio	Barreiro	51	
					Bispeira	159	
				São João da Serra	Conlela	135	
					Covelinho	64	
					São Joane	159	
					Cabrum	207	
					Carvalho do Chão	68	
2	13.51	14.80	23.34	Arões	2/3 Ervedoso	117	59.7
					Felgueira	107	
					Mouta Velha	52	
					Paraduça	159	
					Salgueiro	97	
					Agualva	68	
				Arões	Cercal	43	
					Lomba	112	
3	25.34	20.62	31.68		Carregal	38	15.6
				Manhouce	Sequeiro	33	
					Sernadinha	101	
4	9.3	13.63	18.64				0
					Lajeal	28	
					Malfeitoso	13	
5	9.78	12.95	20.19	Manhouce	Manhouce	218	38.1
					Salgueiro	28	
					Vilarinho	86	

2.2.3.6 Bacia do Rio Varoso (área florestal / área agrícola)

A bacia do rio Varoso é abrangida pelo concelho de São Pedro do Sul. A sua densidade populacional é aproximadamente 40 habitantes por km². Esta bacia possui uma área predominantemente florestal para norte, por onde corre a ribeira da Landeira. Na direcção para Este da bacia do rio Vouga situa-se uma área com alguma densidade populacional e actividade agrícola. Nesta área também existem aviários e um matadouro de aves com ETAR que descarrega os seus efluentes na linha de água do rio Varoso.

Tabela 2.8 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Varoso.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	4.79	8.76	25.88	São Cristovão de Lafões	Gralheira	102	43.8
					Granja	49	
				Valadares	Pedreira	59	
2	9.38	12.26	22.34	Manhouce	Bostarenga	42	15.6
				Santa Cruz da Trapa	Dianteiro	46	
				São Cristovão de Lafões	Chousas	58	
3	10.88	15.50	24.23	Santa Cruz da Trapa	Landeira	65	10.2
					1/2 Sobrosa	46	
				Carvalhais	Abados	171	
4	23.13	19.30	15.79	Carvalhais	1/2 Passos	65	52.2
					Pisão	76	
				Santa Cruz da Trapa	Burgueta	71	
					Calvário	229	
					Eiras	251	
					Lourosa da Trapa	186	
Ribeira da Lourosa	25						
1/2 Sobrosa	46						

					Trapa	67	
					Vila Nova	21	
				Bordonhos	Figueirosa	118	
					Carvalhais	253	
					Favarrel	52	
					Favarrolinho	26	
					Mota	20	
					Mourel	62	
5	14.96	16.50	20.72	Carvalhais	Outeiro	104	68.1
					1/2 Passos	65	
					Prendedores	74	
					Reguengo	82	
					Residual	113	
					Santa	50	

2.2.3.7 Bacia do Rio Zela (área agrícola)

A bacia do rio Zela é considerada uma área agrícola uma vez que tem uma densidade populacional relativamente baixa que ronda os 60 habitantes por km². Dela fazem parte freguesias do concelho de Vouzela em que a população se encontra mais ou menos dispersa e pratica uma agricultura de subsistência.

Tabela 2.9 – Divisão em sub-bacias da bacia do rio Zela.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
				Paços de Vilharigues	Vilharigues	215	
					Adsamo	72	
					Ansara	60	
1	18.96	20.7	18.9	Ventosa	Casal Bom	34	58.5
					Casal de Ouzenda	49	
					Corujeira	55	
					Covelo	34	

	Figueiras	30
	Joana Martins	36
	Quintela	82
	Residual	16
	Sacorelhe	144
	Silvite	18
	Ventosa	79
	Vila Nova	116
Vouzela	Monte Cavalo	69

2.2.3.8 Bacia da Ribeira da Ponte de Aiza (área agrícola)

A bacia da ribeira da ponte de Aiza é claramente uma área agrícola uma vez que não se encontra em nenhum centro urbano, sendo constituída por freguesias pertencentes aos concelhos de Vouzela e Oliveira de Frades. A densidade populacional da bacia da ribeira da Ponte de Aiza é 85 habitantes por km². Nesta bacia o declive dos terrenos não é muito acentuado propiciando a fixação da população e as actividades agrícolas. A divisão da sub-bacias da ribeira da ponte de Aiza em sub-bacias mais pequenas, suas áreas, perímetros e número de habitantes encontram-se na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 – Divisão em sub-bacias da bacia da ribeira da Ponte de Aiza.

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	%inclinação terrenos	Freguesia	Lugar	n.º Hab	Densidade Populacional (Hab/km ²)
1	6.3	11.1	17.2	Paços de Vilharigues	1/3 Ameixas	44	72.9
					Outeiro do Moinho	43	
					Paços	104	
					Touça	140	
				São Vicente de Lafões	São Tiaguinho	94	
					Sernadinha	34	
2	6.8	12.6	15.1	Paços de Vilharigues	2/3 Ameixas	88	110.7
				São Vicente de Lafões	Bandonagens	63	
					Cajadães	110	
					Corredoura	170	

Estudo da relação entre o caudal e os indicadores da qualidade da água no médio Vouga

					Ferreiros	114	
					Residual	51	
					São Vicente	89	
					Sernada	68	
					Cabeço	130	
					Castelo	66	
3	4.3	10.7	19.1	Souto de Lafões	Ladeira	44	70.7
					Oliveira de Frades	64	

3 Simulação de caudais e qualidade da água

3.1 Características do escoamento superficial

A tendência recente da protecção dos recursos hídricos aponta para a integração entre a gestão das águas pluviais e da gestão do uso do solo. É proposto dar mais importância ao estudo do aumento do escoamento provocado pela alteração dos usos do solo relativamente ao estudo da introdução de poluentes da água. [37]

O processo de precipitação – escoamento superficial é extremamente complexo e difícil de modelar fielmente. Em áreas pouco urbanizadas, a quantidade e a taxa de runoff (escoamento sobre o terreno) é afectada pela retenção à superfície, pelas características de infiltração dos solos e pelo padrão da rede de drenagem. O tipo de solo, a cobertura vegetal e a topografia do terreno desempenham papéis fundamentais [37].

A urbanização altera o processo de precipitação – escoamento superficial numa grande variedade de formas. A infiltração é reduzida devido ao aumento das superfícies impermeáveis, resultando num aumento do escoamento superficial. A remoção de árvores, o nivelamento da superfície e compactação superficial podem também dinamizar a quantidade de escoamento superficial que podem levar à formação de caudais de cheias. Além disso, a taxa de escoamento superficial é intensificada pela extensa rede de tubos e canais projectados num ambiente urbano. [37]

A quantidade de escoamento subterrâneo não é o único problema associado à urbanização mas também a sua qualidade é prejudicada. As superfícies dos terrenos urbanos estão sujeitas à acumulação de diversos poluentes durante o tempo seco, muitos deles associados com a actividade humana. Quando chove, esses poluentes são lavados da superfície dos terrenos, o que contribui para a diminuição da qualidade da água receptora. A poluição de origem difusa inclui a erosão do solo devido às construções, óleos e tintas dos automóveis, azoto e fósforo de fertilizantes e pesticidas usados na agricultura, excrementos fecais de animais de estimação e outros animais e poluentes ilegais e derrames.

3.2 Modelo SWMM5

Tendo presente o objectivo fundamental desta dissertação que consiste no estudo da relação ente o caudal do rio Vouga e os indicadores da qualidade da água, foi necessário encontrar uma ferramenta que permitisse obter os caudais de água gerados em todas as bacias e ao longo do curso de água desde a Ponte de Vouzela até ao Carvoeiro. O SWMM5 (Storm Water Management Model Version5) foi o programa escolhido para fazer a simulação de caudais, visto ser o mais sofisticado modelo computacional de simulação de precipitações e escoamento superficial actualmente disponível e por ao contrário de outros modelos, poder ser usado para modelar o fluxo em tempo seco. No entanto, este modelo não se pode considerar simples, pois apresenta uma elevada complexidade em termos de variáveis de entrada, por vezes difíceis de medir directamente no campo, tendo sido arbitrados alguns valores. Em contrapartida, tem uma interface Windows de fácil manipulação. [37] e [38]

3.2.1 Caracterização geral do SWMM5

O SWMM5 é um modelo computacional que tem sido desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency) para simular a precipitação e o escoamento superficial. Este é um modelo dinâmico, sendo usado para um acontecimento pontual ou um acontecimento contínuo de simulação da qualidade e quantidade do escoamento superficial. Este programa simula estes parâmetros, principalmente para áreas urbanas podendo também simular para bacias hidrográficas. [38]

É capaz de simulações complexas, combinando sistemas de esgotos com múltiplas saídas, elementos de armazenamento, de bombas, e de reguladores das águas escoadas superficialmente nas bacias ou sub-bacias hidrográficas, e outros sistemas de drenagem em áreas urbanas, mas também com aplicações em áreas não urbanas. [37]

O SWMM transporta o escoamento superficial através de um sistema de canos, de canais, de dispositivos de armazenamento/tratamento, de bombas e de reguladores das águas escoadas superficialmente e determina a quantidade e a qualidade do escoamento superficial geradas dentro de cada sub-bacia, a taxa de fluxo, a profundidade do fluxo, e a qualidade da água em cada cano e canal durante um período da simulação compreendido de etapas múltiplas de tempo. [38]

Tendo em conta os dados de entrada da área em estudo, este programa realiza simulações hidrológicas, hidráulicas e de qualidade da água, podendo-se observar os resultados em vários formatos, tais como, gráficos, tabelas, análises de frequência estatística, entre outros.

O SWMM representa o comportamento de um sistema de drenagem mediante uma série de fluxos de água e matéria entre os principais módulos que compõem uma análise do meio ambiente. O SWMM está assim dividido em quatro módulos, sendo eles: o Módulo Atmosférico, no qual analisa a chuva caída e os poluentes depositados sobre a superfície do solo; o Módulo da Superfície do Solo, que recebe a precipitação do *Módulo Atmosférico* na forma de chuva ou neve e gera fluxos de saída na forma de infiltração para o *Módulo de Águas Subterrâneas* e escoamento superficial e cargas poluentes para o *Módulo de Transporte*; o Módulo das Águas subterrâneas, que recebe a infiltração do *Módulo da Superfície do Solo* e transfere uma parte da mesma como fluxo de entrada para o *Módulo de Transporte*. Este módulo é representado pelos aquíferos (*Aquifers*); e por fim, o Módulo de Transporte, contém uma rede com elementos de transporte (canais, bombas e elementos reguladores) e unidades de armazenamento e tratamento que transportam água para os nós (*Outfall*) ou para as estações de tratamento. [38]

3.2.1.1 Simulação de Caudais

O modelo recebe séries temporais de precipitação que são atribuídas às respectivas áreas incluídas na bacia em causa. A área total da bacia que recebe a precipitação é representada por um conjunto de sub-bacias, delimitadas tendo em conta a uniformidade de condições em cada uma destas sub-bacias. A água recebida da precipitação dá origem aos fluxos de infiltração e de runoff. A infiltração pode alimentar um aquífero que interage com o escoamento superficial. A água de runoff entra na rede de condutas que transportam a água. A entrada de água nas condutas é realizada num elemento de interligação – nó. Podem também ser usados elementos reguladores do escoamento.

O modelo representa 6 grupos de processos principais:

- Cálculo da precipitação eficaz. Cálculo do escoamento directo (runoff) que entra no nó de entrada de cada conduta.
- Cálculo da água evaporada, com base em dados de evaporação média mensal.
- A evapotranspiração efectiva é calculada como uma fracção fixa da evaporação que não foi realizada por não existir água sobre a superfície.

- Cálculo da infiltração (método SCS, de Horton, ou de Green Ampt).
- Cálculo do nível no aquífero considerando a entrada de água por percolação e o caudal de água subterrânea (saída ou entrada) para o nó de entrada de uma conduta.
- Cálculo do caudal escoado nas condutas aplicando o método dinâmico, ou cinemático ou de estado estacionário.

Para aplicar o modelo escolheu-se o método SCS para a infiltração e de escoamento uniforme nas condutas (linhas de água). [38]

3.2.1.2 Métodos Computacionais

O SWMM5 é um modelo de simulação baseado em fórmulas para os fenómenos físicos, que utiliza uma solução discreta no tempo. Na sua formulação emprega os princípios de conservação da massa, da energia e quantidade de movimento sempre que é possível. Os processos físicos considerados na simulação de caudais são o escoamento superficial, a infiltração, as águas subterrâneas, o derretimento de neve, o comportamento hidráulico do sistema e as inundações na superfície do terreno. De seguida irá ser feita uma descrição dos diferentes métodos empregados pelo SWMM5 para modelar o escoamento derivado da chuva ao longo dos processos físicos referidos. Em paralelo com a quantidade é modelada a quantidade de água.

O Escoamento superficial (Runoff) é o principal fenómeno hidrológico que pode ser representado no modelo. Na Figura 3.1 está representado um modelo conceptual do fenómeno de escoamento tal como é implementado o SWMM5.

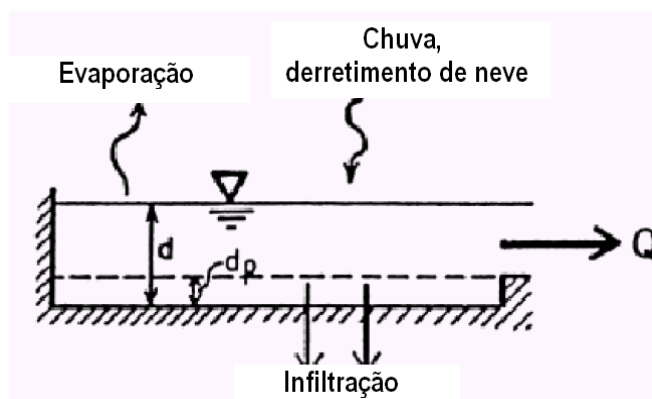


Figura 3.1 - Visão conceptual do fenómeno de escoamento utilizado pelo SWMM5. [38]

O escoamento superficial ocorre quando a precipitação caída é maior do que as capacidades de intercepção pela cobertura vegetal e pelos edifícios, da evaporação na superfície terrestre e da infiltração; o volume de água excedente, em obediência às leis da gravidade, escoar-se à superfície do terreno até à linha de água mais próxima, dando assim origem ao escoamento superficial. Associado a este fenómeno podem ocorrer duas situações distintas. Quando as chuvas são muito intensas ou prolongadas, o escoamento superficial poderá exceder a capacidade de vazão das linhas de água e originar cheias com todos os inconvenientes associados. Por outro lado, quando as chuvas são escassas para suprir as capacidades dos processos de evaporação, de infiltração e de retenção nas depressões do terreno, poderá surgir seca pela não formação de escoamento superficial. [26]

No SWMM5, cada sub-bacia é considerada um depósito não linear cujas saídas são a infiltração, a evaporação e o escoamento superficial. O escoamento superficial por unidade de área, Q , produz-se quando a profundidade da água no depósito excede o valor máximo de armazenamento em depressão, dp , em que o caudal de saída é obtido da aplicação da equação de Manning. [38]

A infiltração é o movimento da água para dentro do solo, quer devido à acção da gravidade em que a água penetra tanto mais facilmente quanto maior for o diâmetro dos poros, quer pelo efeito da capilaridade (dirigida de cima para baixo e lateralmente), que se faz sentir tanto mais quanto menores forem os poros. A infiltração envolve três processos distintos que são a entrada da água através da superfície do solo, o seu armazenamento no solo e o movimento através do solo (percolação e drenagem). [26] É deste modo, influenciada pela temperatura do solo, humidade do solo, permeabilidade do solo e profundidade da camada impermeável.

O SWMM5 pode modelar a infiltração recorrendo a três métodos distintos: através da equação de Horton, pelo método Green-Ampt ou pelo método de Número da Curva do SCS. Este último método é baseado numa aproximação adoptada do NRCS (SCS) para calcular o runoff e assume que a capacidade de infiltração de um solo pode ser determinada através de valores de Número de Curva tabelados. Os parâmetros de entrada para este método são o número de curva, a condutividade hidráulica do solo, e o tempo que um solo completamente saturado demora a ficar completamente seco. [38]

O escoamento subterrâneo é determinado pela formação geológica do aquífero que o suporta. Deste modo, o estudo da natureza, espessura e profundidade dos materiais sólidos da crosta terrestre, assim como da sua distribuição superficial e subsuperficial é

de extrema importância para compreender a ocorrência e o movimento da água subterrânea. [Assim, a geologia é importante para determinar o comportamento das unidades hidrogeológicas e na definição de formações aquíferas (boas ou pobres, aquíferos, aquíferos). [26]

A Figura 3.2 representa de forma esquemática o modelo de águas subterrâneas de duas zonas, utilizado pelo SWMM5. A parte superior diz respeito a uma zona insaturada e a parte inferior é uma zona completamente saturada em que o seu conteúdo de água é fixo para uma determinada porosidade do solo.

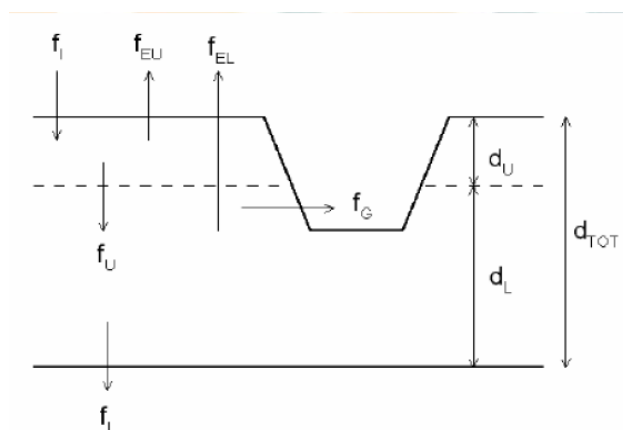


Figura 3.2 - Esquemática do modelo de águas subterrâneas de duas zonas, utilizado pelo SWMM5. [38]

Os fluxos representados na Figura 3.2 são expressos em volume por unidade de área e tempo e são os seguintes:

- f_I – infiltração desde a superfície;
- f_{EU} – evapotranspiração desde a zona superior, que é uma fracção fixa da evaporação superficial não usada;
- f_U – filtração desde a zona superior até à inferior. Depende do conteúdo de humidade da zona superior e da profundidade d_U ;
- f_{EL} – evapotranspiração desde a zona inferior, que é uma função da profundidade da zona superior d_U ;
- f_L – filtração desde a zona inferior para as águas subterrâneas profundas que depende da profundidade da zona inferior d_L ;

-
- o f_G – interacção lateral das águas subterrâneas com o sistema de drenagem, que depende da profundidade da zona inferior d_L , assim como da altura da conduta ou nó receptor.

O editor de Fluxo Subterrâneo (*Groundwater Flow Editor*) do SWMM5 utiliza-se para fazer a ligação de uma sub-bacia a um aquífero e a um nó da rede que intercambia águas subterrâneas com o aquífero. Ainda especifica os coeficientes que determinam o caudal da água subterrânea entre o aquífero e o nó correspondente. A expressão utilizada para calcular esse caudal é a seguinte:

$$Q_{gw} = A_1 \times (H_{gw} - E)^{B_1} - A_2 \times (H_{sw} - E)^{B_2} + A_3 \times H_{gw} \times H_{sw}$$

Em que:

Q_{gw} é o Fluxo subterrâneo ((m³/s)/ha)

H_{gw} é a altura piezométrica da água subterrânea (m)

H_{sw} é a altura piezométrica da água no nó receptor (m)

E é a cota de fundo do nó receptor (m)

A_1, A_2 são o coeficiente do fluxo subterrâneo e superficial, respectivamente

B_1, B_2 são o expoente de fluxo subterrâneo e superficial, respectivamente.

A_3 é o coeficiente de interacção

3.2.1.3 Simulação da qualidade da água

O SWMM permite também modelar a qualidade da água que é transportada nas condutas. Para este fim são requeridos, para cada poluente:

- o A concentração na água da chuva.
- o A concentração na água dos aquíferos.
- o A taxa de acumulação sobre a superfície das bacias, em função do tipo de uso do solo.
- o A remoção por operações de limpeza de ruas e por acção de lavagem pela água de runoff.

- As cargas associadas a águas residuais, introduzidas em cada nó.
- A taxa de remoção por reacção, sedimentação ou outro mecanismo que ocorra durante o transporte na rede hidrográfica.

O SWMM permite considerar vários tipos de uso de solo dentro de uma sub-bacia e simultaneamente definir a percentagem média global de área impermeabilizada na sub-bacia. Para os vários tipos de uso do solo podem ser definidas diferentes taxas de acumulação e de lavagem de poluentes.

4 Métodos de Trabalho

4.1 Trabalho de campo

4.1.1 Saídas de Campo

As saídas de campo realizadas no período de 23 de Novembro de 2007 a 16 de Abril de 2008 tiveram como principais objectivos a recolha de amostras de água em determinados pontos escolhidos como representativos dos vários usos do solo na área do Médio Vouga. No campo, além da medição de caudais, também foram medidos “*in situ*” a temperatura, o oxigénio dissolvido, a condutividade, a turbidez, a ficocianina e a clorofila a e recolhidas amostras para posterior análise hidroquímica no laboratório. Aquando das amostragens foi sempre observado o estado das águas e margens do rio Vouga assim como dos rios e ribeiras afluentes.

Além destas saídas de campo, que decorreram no semestre de inverno, foi ainda efectuada uma última saída com o objectivo primordial de observar locais em que ocorrem descargas poluentes nos rios e ribeiras e identificação de fontes poluidoras. Foi realizada nos dias 22 e 23 de Julho de 2008 e foram medidos “*in situ*” os mesmos parâmetros da qualidade da água que nas anteriores datas. Em laboratório apenas foi medida a concentração de CBO₅. Uma vez que o âmbito desta saída foi diferente das outras será feita uma distinção em termos de metodologia e apresentação de resultados.

4.1.2 Escolha dos parâmetros de qualidade da água a analisar

Os parâmetros de qualidade da água foram escolhidos tendo em conta as características das bacias, a sua hidrogeologia e a influência de tipos de ocupação nas mesmas. Assim sendo, e atendendo a aspectos operacionais, os parâmetros medidos foram a condutividade, a temperatura, o oxigénio dissolvido, a turbidez, a ficocianina, a clorofila a, o CBO₅ (carência bioquímica de oxigénio), os sólidos suspensos totais e voláteis, a amónia, o nitrato, o azoto orgânico, o fósforo solúvel, o fósforo particulado e o fósforo total.

O parâmetro da condutividade foi escolhido uma vez que existe uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade eléctrica, portanto

quanto maior for a quantidade de sais dissolvidos na água maior será o valor de condutividade da mesma. A condutividade aumenta com a temperatura.

O oxigénio dissolvido é o elemento principal do metabolismo dos microorganismos aeróbios que habitam as águas naturais. É indispensável também para os peixes, em que a maioria não resiste a concentrações de OD na água inferiores a 4 mg/L. A elevada carga orgânica e nutrientes, faz aumentar o fitoplâncton, que provoca um aumento diurno por via da fotossíntese e um decréscimo nocturno por via da respiração. Durante a noite a diminuição de OD pode trazendo problemas em termos de disponibilidade deste para os peixes e outros seres vivos das águas naturais. A solubilidade do oxigénio na água depende de diversos factores, dos quais se salientam a pressão atmosférica e a temperatura. Um aumento da temperatura conduz a uma diminuição do teor em oxigénio porque diminui a sua solubilidade e aumenta o número de microorganismos consumidores de oxigénio, o que limita a capacidade de auto-depuração das águas naturais. [39]

O CBO₅ corresponde à quantidade de oxigénio consumido na degradação da matéria orgânica por processos biológicos, a uma temperatura de 20°C durante 5 dias. É calculada pela diferença entre a quantidade de oxigénio determinada no momento de colecta (OD0) e após 5 dias de incubação com os microorganismos (OD5). A carência bioquímica de oxigénio reflecte a carga orgânica presente na água, sendo importante analisar este parâmetro de qualidade da água.

A quantidade de sólidos suspensos presentes numa água é uma característica muito importante da qualidade da água, dado que estes constituem frequentemente elementos de transporte de vários contaminantes, nomeadamente metais, nutrientes e microorganismos, além de conterem uma fracção de material orgânico. Os SST (Sólidos Suspensos Totais) correspondem à carga sólida em suspensão que pode ser separada por filtração ou decantação. Os SSV (Sólidos Suspensos Voláteis) correspondem à fracção de material orgânico. As águas subterrâneas geralmente não possuem sólidos em suspensão [40].

A turbidez de uma amostra é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos finos, visíveis, em suspensão, que impedem ou dificultam a passagem de luz. [41]

O azoto pode existir na água sob a forma dissolvida ou particulada. O azoto dissolvido é constituído por compostos inorgânicos, nomeadamente a amónia (NH₄⁺), o nitrato (NO₃⁻), e, em menos quantidade, o nitrito (NO₂⁻). O azoto particulado é sobretudo composto por

azoto orgânico. O azoto total é portanto, a soma de todas as formas de azoto. Este pode provocar a eutrofização de rios e ribeiras pela excessiva acumulação no meio aquático, levando ao crescimento de algas. O azoto pode ter origem tanto em descargas de águas residuais domésticas e pecuárias, como também da aplicação de fertilizantes azotados nos terrenos agrícolas, sendo pertinente estudar a sua presença nos pontos seleccionados.

O fósforo dissolvido é composto essencialmente por ortofosfato (PO_4^{3-}) e por compostos orgânicos dissolvidos. As formas particuladas incluem compostos orgânicos e inorgânicos, designando-se fósforo total à soma de todas estas formas de fósforo. Grande parte do fósforo dissolvido presente nas águas, outro dos principais nutrientes analisados com papel fundamental na eutrofização, tem a sua principal origem em descargas de esgotos domésticos e de efluentes industriais. [42] O fósforo particulado pode provir da erosão do solo. O fósforo é portanto indispensável para identificar este tipo de descargas no Médio Vouga.

A clorofila *a* pode ser usada como indicador do nível de eutrofização do meio aquático, uma vez que a quantidade de algas fitoplantónicas numa massa de água pode ser expressa em termos da concentração deste pigmento fotossintético, sendo portanto indispensável a sua determinação. [42].

A ficocianina é o pigmento azul produzido por cianobactérias, resultante da fotossíntese. O fitoplâncton das águas naturais é constituído por um conjunto de organismos aquáticos que em conjunto com as cianobactérias têm capacidade fotossintética e vivem dispersos na coluna de água. O fitoplâncton é responsável por alguns problemas ecológicos quando se desenvolve demasiadamente numa situação de excesso de nutrientes.

4.1.3 Escolha dos locais de medição

4.1.3.1 Análise hidroquímica da água para identificar diferenças de qualidade da água

Tendo em conta as características da bacia hidrográfica e o objectivo de identificar as causas de alteração da qualidade da água que é captada para abastecimento público nas captações do Carvoeiro foram escolhidos 13 locais para colheita de amostras que cobrem as principais sub-bacias do Médio Vouga, conforme estão representados no mapa da Figura 4.1 e na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Locais de Amostragem, suas coordenadas e altitude.

Pontos	Rio	Coordenadas UTM (WGS84)	Altitude (m)
1	Ribeira da Alombada	549727.71N; 4502992.59W	86
1A	Ribeira da Alombada A	555245.61N; 4504964.91W	200
2	Carvoeiro (rio Vouga)	546907.75N; 4502872.80W	35
3	Rio Mau	549741.89N; 4504345.45W	21
3A	Minas do Braçal (rio Mau)	550385.96N; 4509210.53W	130
4	Ribeira do Pessegueiro	553740.70N; 4506318.77W	56
5	Ponte de Pessegueiro (Rio Vouga)	554106.53N; 4506469.11W	30
6	Ponte da Salgueira	555300,93N; 4508121,22W	45
7	Rio Teixeira	562712,24N; 4516357,30W	164
8	Ponte do rio Varoso	570086,86N; 4512833,64W	278
9	Ponte de Vouzela (rio Vouga)	574972,03N; 4509461,82W	155
10	Rio Zela		
11	Ponte de Sejães (rio Vouga)	567595,30N; 4511041,94W	96
12	Ribeira da Landeira	570021,44N; 4513899,40W	372
13	Ribeira da ponte de Aiza	571716,36N; 4509013,92W	

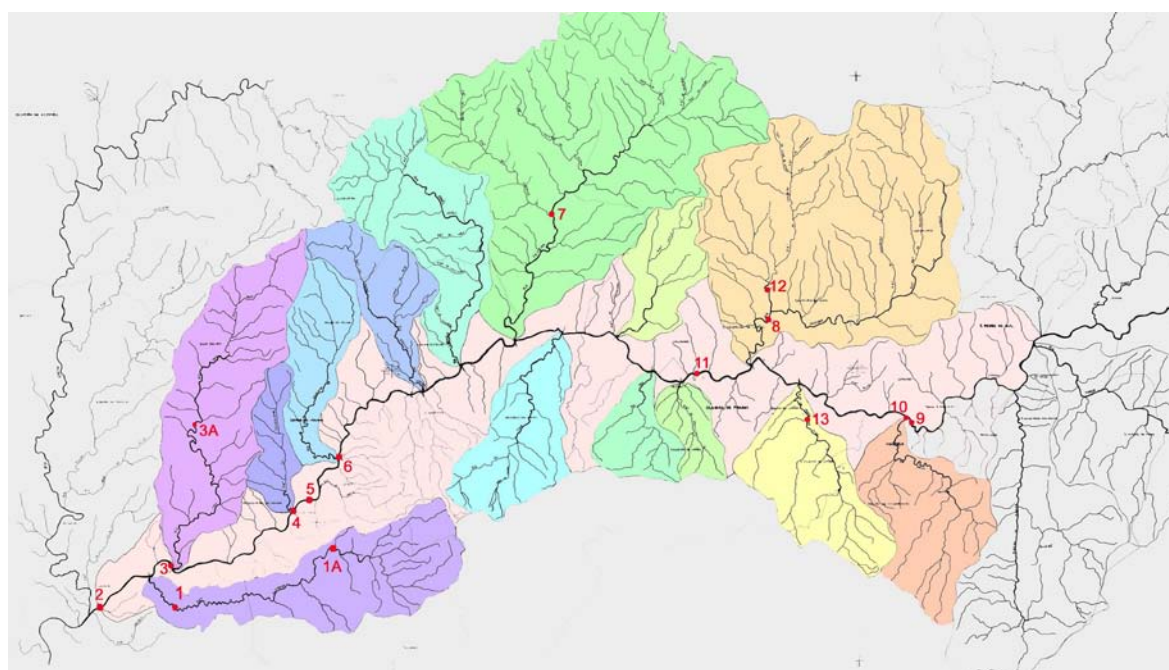


Figura 4.1 - Bacia hidrográfica do rio Vouga. Localização dos pontos de amostragem escolhidos para determinar o estado característico das sub-bacias.

Ao chegar ao Carvoeiro, o rio Vouga apresenta um regime de caudais, uma hidrogeologia, e uma qualidade dependente do tipo de ocupação do solo na área da bacia a montante. Deste modo foram escolhidos pontos ao longo de todo o troço do rio Vouga e afluentes para documentar as causas de alteração da qualidade da água e identificar fontes poluidoras. A ordem da numeração dos pontos (Figura 4.1) tem a ver com o trajecto seguido e a ordem de recolha das amostras, que decorreu de jusante para montante. A justificação da escolha dos pontos e a sua descrição irá ser feita de montante para jusante até chegar ao Carvoeiro.

Com o objectivo de avaliar a qualidade da água do rio Vouga no troço à entrada da área de estudo, correspondente ao Alto Vouga, foi escolhido um ponto de amostragem situado na Ponte de Vouzela sobre o rio Vouga, imediatamente antes da confluência deste com o rio Zela (9, Ponte de Vouzela, Rio Vouga). O ponto seguinte situa-se na foz do rio Zela, que está sujeito a cargas poluentes da área urbana de Vouzela (10, rio Zela). Este ponto situa-se a 130m de altitude e a área da bacia de drenagem é 17.5 km². O próximo ponto amostrado foi na ribeira da Ponte de Aiza (13, ribeira da Ponte de Aiza) a aproximadamente 2 km da foz da mesma. Esta ribeira recebe os efluentes da ETAR do matadouro de aves de Ameixas e a área de drenagem desta bacia é 17.7 km². Na bacia do Rio Varoso, foram escolhidos dois pontos de amostragem, conforme na Figura 4.1. O ponto 8 foi escolhido mesmo no rio Varoso (8, rio Varoso), que recebe os efluentes tratados de várias ETAR's de matadouros de aves. O ponto 12, na Ribeira da Landeira, corresponde a uma área florestal. Este ponto foi escolhido com o objectivo de comparar dentro da mesma bacia a qualidade da água proveniente da área com actividade agroindustrial com a proveniente de uma área natural mais dependente da influência da água da chuva na concentração dos nitratos. A área de drenagem da bacia do rio Varoso é 63.2 km². O ponto seguinte no rio Vouga foi localizado na Ponte de Sejães (11, Ponte de Sejães), a montante dos afluentes da margem direita, rio Arões e rio Teixeira, que têm origem no grande maciço da serra da Arada [15]. A jusante deste ponto há uma descarga de água residual proveniente da ETAR Compacta de Pinheiro de Lafões. Deste modo, o objectivo deste ponto é o de verificar a qualidade do rio Vouga depois de receber as cargas de São Pedro do Sul, Vouzela, e Oliveira de Frades e antes da entrada dos afluentes indicados. O ponto 7 insere-se na bacia do rio Teixeira, que possui uma elevada área florestal e não possui nenhuma ETAR a descarregar neste rio. A área de drenagem desta bacia é 72.7 km². Na foz da Ribeira da Salgueira, foi escolhido um ponto de amostragem por se tratar de uma área agrícola (6, Ponte da Salgueira), com significativa poluição difusa resultante da agricultura. A bacia da Ribeira da Salgueira tem

uma área de drenagem de 11.5 km². O ponto 5 situa-se no rio Vouga, na ponte de Pessegueiro, a montante da confluência com a ribeira do Pessegueiro. Este ponto permite avaliar a qualidade do rio Vouga antes da futura barragem de Ribeiradio que vai aumentar o tempo de retenção na bacia e poderá trazer problemas e também avaliar a qualidade da água antes da contribuição dos efluentes de Sever do Vouga. O ponto 4 situa-se na foz da ribeira do Pessegueiro. A área desta bacia é essencialmente urbana com uma densidade populacional significativa, e possui a ETAR de Sever do Vouga a descarregar os efluentes na ribeira do Pessegueiro, contribuindo para a degradação da qualidade da água no rio Vouga. A área da bacia de drenagem é 5.8 km². O ponto 3 situa-se na foz do Rio Mau, cuja bacia tem uma área de drenagem de 30.7 km². O último ponto de recolha antes da captação no Carvoeiro situa-se na foz da ribeira da Alombada (1, Ribeira da Alombada). A área da bacia da ribeira da Alombada é 23.9 km² e é considerada uma área florestal. Os pontos 1A, 3A bem como o ponto 12 foram adicionados aos pontos de amostragem iniciais com o objectivo de avaliar a variação da concentração de nitratos ao longo da bacia. Os valores de concentração de nitrato destes pontos foram comparados com os valores dos pontos 1 (bacia da ribeira da Alombada), 2 (bacia do rio Mau) e 8 (bacia do rio Varoso), respectivamente. O último ponto de recolha corresponde ao açude no local das captações do Carvoeiro (2, Carvoeiro). Este local encontra-se logo a montante da foz do rio Caima.

4.1.3.2 Identificação de fontes poluidoras

A saída de campo realizada no dia 22 e 23 de Julho de 2008 teve como objectivos a observação de sinais de degradação de rios e ribeiras, a procura de fontes de poluição doméstica (descarga de ETAR's) a montante das captações que possam justificar a degradação da qualidade da água do Vouga junto das mesmas, a identificação das linhas de água onde as descargas são feitas e que, por isso são afectadas e por último, a recolha de algumas amostras para a medição de CBO5 no laboratório e medição de alguns parâmetros da qualidade da água "*in situ*". Os pontos escolhidos para avaliar possíveis cargas poluentes estão indicados na Tabela 4.2 e também na Figura 4.2.

Tabela 4.2 – Identificação dos pontos de observação e recolha de amostras e suas coordenadas

Pontos	Identificação do Local	Coordenadas UTM (m)
A	Ribeira de Ribamá	578678N; 4505685W
B1	Ponte Nova (rio Vouga)	579878N; 4512385W
C	Ponte rio Sul	579578N; 4512485W
D	Termas de São Pedro do Sul (rio Vouga)	576478N; 4510285W
E	Localização da ETAR de Valgode	576078N; 4508885W
F	Rio Zela	574878N; 4509585W
G2	Descarga a jusante do rio Zela (rio Vouga)	574878N; 4509597W
H3	Ribeira de Oliveira de Frades	569978N; 4509885W
I4	Praia fluvial de Sejães (rio Vouga)	567200N; 4510800W
J5	Praia fluvial de Sejães (rio Vouga)	567000N; 4510700W
L6	Ponte de Antim (rio Varoso)	572878N; 4512885W
M	ETAR compacta de Soligó	553122N; 4505918W
N	ETAR de biodiscos de Sever do Vouga	553434N; 4508638W
O	ETAR de lamas activadas da Lactogal	555945N; 4512631W
P	ETAR Compacta de Cedrim	555900N; 4505500W

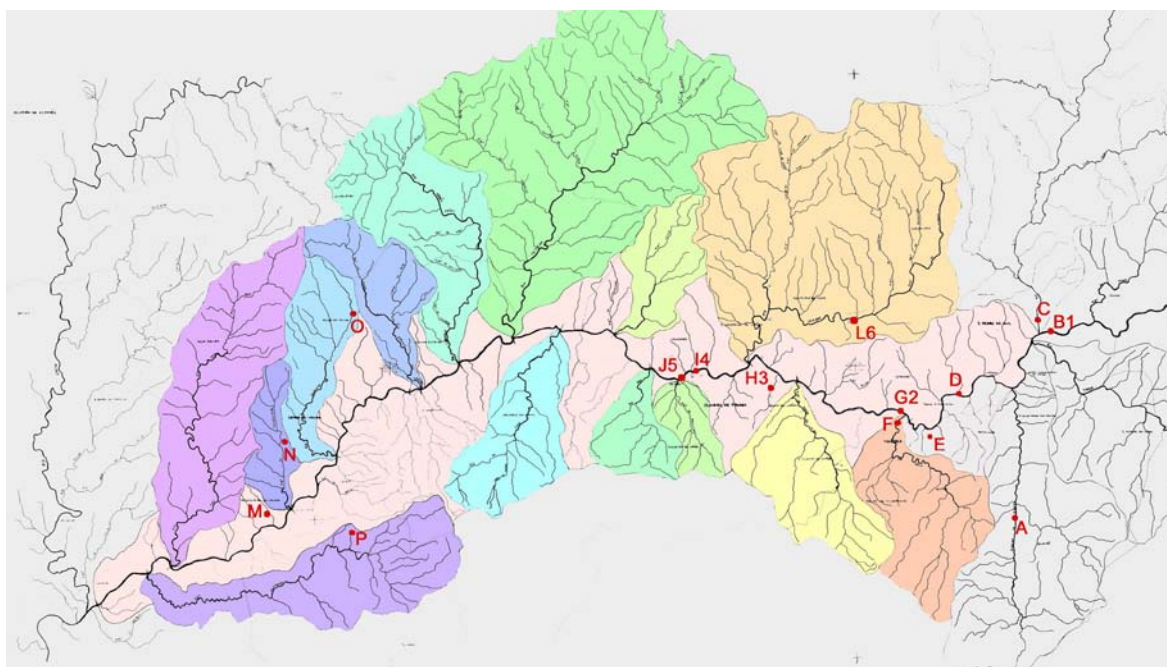


Figura 4.2 – Bacia hidrográfica do rio Vouga. Localização dos pontos escolhidos para avaliar descargas poluentes

A numeração dos pontos representados na Figura 4.2 tem a ver com o trajecto seguido e com a ordem de recolha das amostras. No dia 22 de Julho de 2008, foram visitados vários locais, o primeiro na ribeira de Ribamá (A, ribeira de Ribamá). Esta ribeira pertence ao concelho de Vouzela, à freguesia de Queirã mas não se encontra dentro da área de estudo desta dissertação. No entanto, uma vez que a sua foz se situa imediatamente a montante da área de estudo, revelou-se importante observar o seu estado de conservação e características do meio envolvente nomeadamente o tipo de vegetação, ocupação do solo, etc.

O próximo ponto (B1, Ponte Nova, rio Vouga) situa-se no concelho de São Pedro do Sul, no lugar da Ponte e também não está inserido na área de estudo. No entanto, como é o ponto situado no rio Vouga que se encontra a montante das maiores áreas urbanas da área de estudo é importante avaliar o estado à entrada da área de estudo. Para isso, neste ponto recolheu-se uma amostra para análise do CBO₅ em laboratório e foram medidos alguns parâmetros de qualidade da água “*in situ*”.

No ponto C, na Ponte do rio Sul, que pertence ao concelho de São Pedro do Sul, apenas foi observado o estado de conservação da água do rio Sul. Assim como os pontos anteriores, este ponto também não contempla nenhuma das bacias estudadas, mas como se encontra a montante pode influenciar a qualidade da água no troço estudado.

O local D, nas termas de São Pedro do Sul, foi escolhido por ser um local com um cunho turístico bastante acentuado e elevada densidade populacional. Pertence à Freguesia de Várzea, ao Concelho de São Pedro do Sul. No passado foram registadas descargas do efluente urbano junto à ponte das Termas de São Pedro do Sul.

Depois da observação da situação do rio Vouga, nas termas de São Pedro do Sul, seguiu-se pela EN16, direcção termas – Vouzela, até Vouzela onde se observou de longe, a ETAR de Valgode (E, ETAR de Valgode). Esta recebe o emissário de São Pedro do Sul e o emissário de Vouzela. Apesar de não se encontrar na área de estudo, os seus efluentes tratados são descarregados no rio Vouga no ponto da confluência deste com o rio Zela, provocando poluição acentuada do rio Vouga.

O local F corresponde ao rio Zela que pertence ao concelho de Vouzela. Foi observado essencialmente o seu estado de conservação, sendo registada a existência de muita vegetação a crescer no leito do rio.

No local G2, depois da confluência do rio Zela com o rio Vouga, foi identificada uma descarga do emissário da ETAR de Valgode. Depois da mistura da dita descarga com o

rio Vouga e com o afluente do Zela, foi recolhida uma amostra de água para medir o CBO₅ e também medidos parâmetros de qualidade da água “*in situ*”.

O próximo ponto escolhido foi na ribeira de Oliveira de Frades, a jusante da descarga da ETAR Municipal de Oliveira de Frades (H3, Ribeira de Oliveira de Frades). Pertence à freguesia de Souto de Lafões, concelho de Oliveira de Frades. O objectivo foi verificar a qualidade da água da ribeira, depois da descarga da ETAR. Para isso, foi recolhida uma amostra de água e medidos parâmetros de qualidade conforme os pontos B1 e G2.

O local I4 situa-se na praia fluvial de Sejães, a montante da descarga de efluente tratado da ETAR compacta de Pinheiro de Lafões, que trata um efluente doméstico do concelho de Oliveira de Frades e outros efluentes da zona industrial de Oliveira de Frades. Neste ponto foi recolhida a quarta amostra para determinação de CBO₅ e medidos parâmetros de qualidade da água no local (I4, Praia fluvial de Sejães, rio Vouga).

Com o objectivo de verificar a influência da descarga do efluente tratado da ETAR na qualidade da água do rio Vouga, procedeu-se à recolha de uma amostra de água e medição dos mesmos parâmetros de qualidade da água a jusante da descarga (J5, Praia fluvial de Sejães, rio Vouga).

Ainda no dia 22 de Julho, foi recolhida uma última amostra no rio Varoso junto ao matadouro de aves Aviclasse, que recebe os efluentes tratados do mesmo (L6, Ponte de Antim, rio Varoso). Este ponto situa-se na freguesia de Santa Cruz da Trapa, no concelho de São Pedro do Sul e pertence à bacia do rio Varoso.

A saída de campo do dia 23 de Julho de 2008 iniciou-se da parte da tarde, e as temperaturas eram mais baixas do que as registadas no dia anterior. Neste dia não foram recolhidas amostras para análise em laboratório nem medidos parâmetros de qualidade da água no local. Nesta saída foram identificadas algumas ETARs e identificadas as linhas de água onde estas descarregam os seus efluentes.

Identificou-se a ETAR compacta de Soligó (M, ETAR compacta de Soligó), que pertence à freguesia de Pessegueiro do Vouga e ao concelho de Sever do Vouga.

O próximo local foi a ETAR de biodiscos de Sever do Vouga, inserida na bacia da ribeira de Pessegueiro, na freguesia e concelho de Sever do Vouga (N, ETAR de biodiscos de Sever do Vouga).

O local O, corresponde à ETAR de lamas activadas da empresa de produção de leite, a Lactogal. Está inserido na bacia da ribeira da Salgueira e nela descarrega os seus efluentes.

Por último, foi identificada a ETAR compacta da Zona Industrial de Cedrim. Este local está inserido na bacia da ribeira da Alombada.

4.1.4 Datas das saídas de campo

As colheitas de amostras para análise físico-química em laboratório foram realizadas em 5 datas entre Novembro de 2007 e Abril de 2008. Na Tabela 4.3 além dos dias da medição são também indicadas as horas de recolha das amostras pelos locais de amostragem.

Tabela 4.3 – Locais de amostragem, datas e horas de recolha.

Pontos	Rio	23-11-2007	23-01-2008	25-02-2008	15-04-2008	16-04-2008
1	Ribeira da Alombada	10:20 *	10:35 *	14:30 *	10:05 *	
1A	Ribeira da Alombada A			16:20	15:15	
2	Carvoeiro (rio Vouga)	11:20 *	11:30		11:20	
3	Rio Mau	12:10	12:15 *	15:10 *	11:55 *	
3A	Minas do Braçal (rio Mau)			17:30	14:10	
4	Ribeira do Pessegueiro	12:50	13:10			10:50
5	Ponte do Pessegueiro (Rio Vouga)	13:05	13:25			12:00
6	Ponte da Salgueira	14:10	14:45			12:20
7	Rio Teixeira	14:50	15:20			14:00
8	Ponte do rio Varoso	15:40	16:40	19:22		14:50
9	Ponte de Vouzela (rio Vouga)	16:10	18:10			16:00
10	Rio Zela	16:30	18:30			16:20
11	Ponte de Sejães (rio Vouga)	17:00	17:15			17:40
12	Ribeira da Landeira		16:25	19:00		15:10
13	Ribeira da ponte de Aiza		17:40			17:00

* pontos em que se fez medição de Caudal

Os dias das saídas de campo corresponderam a condições meteorológicas e condições de escoamento do rio e afluentes específicas. Foram escolhidas datas que coincidissem

com dias favoráveis para o trabalho a realizar, isto é, após períodos com chuva mas em ocasiões estáveis com pouca chuva.

A primeira saída de campo, a 23 de Novembro de 2007, depois de um Verão muito seco, depois de alguma chuva que não provocou um aumento do caudal significativo, teve como objectivo avaliar a qualidade da água numa situação de baixo caudal, na ocasião das primeiras chuvadas do Outono. Nesta saída foi medido o caudal na ribeira da Alombada e logo após o açude das captações do Carvoeiro.

A segunda saída, foi a 23 de Janeiro de 2008, depois de precipitação que fez aumentar significativamente o caudal do rio. Como a amostragem foi realizada em condições de caudal elevado, não foi possível medir o caudal junto ao Carvoeiro. Esta saída teve como objectivo avaliar a influência do aumento do caudal do rio na qualidade do rio Vouga, depois das chuvadas do Inverno.

A terceira saída de campo foi realizada apenas em seis locais, escolhidos com o objectivo de verificar a influência da precipitação na concentração de nitratos. Deste modo, esta amostragem, realizada no dia 25 de Fevereiro de 2008, decorreu depois de 8 dias de precipitação moderada (35 mm nos 8 dias), na estação da Campia. [43] Os locais escolhidos encontram-se referenciados na Tabela 4.3. Neste dia foi medido o caudal na ribeira da Alombada e no rio Mau.

A quarta saída de campo realizou-se nos dias 15 e 16 de Abril de 2008, depois de dias seguidos de chuva intensa, após uma Primavera seca e com temperaturas elevadas para a estação do ano. Esta saída teve como objectivo, mais uma vez avaliar a qualidade da água depois de uma chuvada intensa, representando as condições da Primavera. Foi medido o caudal do rio na Ribeira da Alombada e no rio Mau, não sendo possível medir junto ao Carvoeiro, devido ao elevado caudal.

A colheita das amostras, foi realizada partindo sempre da ribeira da Alombada e acabando quase sempre na ponte de Sejães ou no rio Zela, começando por volta das 10h e terminando por volta das 18h. Deste modo, as amostras representam a situação em que o meio aquático recebeu uma exposição relativamente longa à luz do dia.

4.1.5 Recolha das amostras

Nas campanhas de recolha de amostras, e em cada um dos locais de amostragem, foram medidos no local os seguintes parâmetros: temperatura (T, em °C), o oxigénio dissolvido (OD, em mg/L) e a percentagem de saturação de O₂ (em %) utilizando o aparelho *WTW OXI330*; a condutividade (C, µS/cm) utilizando o aparelho *WTW LF330*; a clorofila a

(medida a 460/665 nm), a ficocianina (medida a 590/660nm), e a turbidez (medida a 515/515 nm) foram medidas com um *Flurimetro/Turbidimetro TD-Aquafluor*.

Em seguida, foram recolhidas três amostras, num ponto afastado da margem: 2 litros de amostra para um frasco de plástico previamente lavado com ácido clorídrico, para análise da carência bioquímica de oxigénio (CBO₅, em mg/L), teor de sólidos suspensos totais (SST, em mg/L) e teor de sólidos suspensos voláteis (SSV, em mg/L), amónia (N-NH₄, em mg/L), nitrato (NO₃⁻, em mg/L), fósforo particulado (P_{part.}, em mg/L) e azoto (N, em mg/L); aproximadamente 250 mL de amostra para um frasco de vidro com tampa também previamente lavado com ácido clorídrico, para análise do fósforo total (P_{total}, em mg/L), e fósforo solúvel (P_{solúvel}, em mg/L) por filtração de um determinado volume de amostra; e aproximadamente 1L de amostra recolhido num frasco de plástico, para análise da clorofila a. A colheita das amostras foi efectuada próximo da superfície da água, a maior parte das vezes a partir de pontes em que se usou um frasco de amostragem lastrado, suspenso num fio, conforme se pode ver na Figura 4.3.



Figura 4.3 – Recolha de amostras

4.1.6 Medição de caudal

Em alguns locais e dias de amostragem, referenciados na Tabela 4.3, além da recolha de amostras também foi medido o caudal, recorrendo a um molinete *VALEPORT BFM001*.

Os molinetes são instrumentos providos de um hélice solidário com um eixo, cuja contagem de rotação, quando cronometrada, permite determinar a velocidade angular do hélice. A conversão das rotações em velocidade, fez-se recorrendo a uma tabela de calibração do molinete que se encontra em anexo. [26]

Para cada secção, o molinete foi colocado numa vara a 60% da profundidade total e foram medidas as rotações em 100 segundos. Na escolha do local teve-se em linha de conta a secção que apresentava melhores condições de medição, ou seja, uma secção bem determinada em que não houvesse nada a impedir a rotação da hélice e que fosse de bom acesso. Na Figura 4.4 mostra-se uma medição do caudal.

Para cálculo do caudal propriamente dito, utilizou-se o método área de secção-velocidade. A medição do caudal Q , por este método, envolve a medição da área S numa secção transversal do curso da água, e da velocidade média U através dessa secção, sendo o valor do caudal obtido pela integração numérica da velocidade sobre a área de secção. [26]



Figura 4.4 – Medição do Caudal

4.1.7 Parâmetros medidos no laboratório e métodos usados

Os parâmetros escolhidos para medir em laboratório foram: o CBO_5 , os sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis, a amónia, o nitrato, o azoto orgânico, o fósforo solúvel, o fósforo particulado, o fósforo total e a clorofila a.

As análises laboratoriais destes parâmetros foram realizadas num laboratório do Departamento de Ambiente e Ordenamento do Território, seguindo os métodos descritos no Standard Methods. [44]

Depois da recolha, aquando da chegada ao laboratório, procedeu-se à filtração de um volume de amostra necessário para a determinação de sólidos suspensos totais e voláteis, e recolheu-se volume filtrado para a determinação de nitratos, que posteriormente foi guardado no frigorífico a 4 °C, no escuro, para futura análise. O nitrato, em conjunto com o nitrito, foi determinado após redução em coluna de cádmio. Também se recolheu filtrado num balão volumétrico de 250 mL para determinação do fósforo solúvel.

Após um período de até 24h após a colheita, foi determinada a concentração de amónia pelo método fluorimétrico. Os sólidos suspensos foram determinados por gravimetria após a filtração de 1-2 litros de amostra, seguida de secagem na estufa a 105 °C, para a quantificação dos totais, e posterior ignição na mufla a 550 °C, para a quantificação dos voláteis. A filtração foi feita por um filtro de fibra de vidro previamente lavado com água destilada e calcinado. O fósforo total e o fósforo solúvel foram determinados pelo mesmo método, o método clorimétrico do Ácido Ascórbico, no entanto a amostra para a análise do fósforo solúvel não foi sujeita a digestão com ácido sulfúrico e ácido nítrico. O azoto total foi determinado após oxidação a nitrato com persulfato a 120 °C. O CBO₅ foi determinado após 5 dias de incubação a 20 °C. A clorofila *a* foi determinada pelo método clorimétrico. De salientar que este parâmetro foi medido “*in situ*” em todos os pontos e foi determinado no laboratório mas apenas em alguns pontos. O ajuste dos valores de clorofila *a* medidos por métodos diferentes encontra-se em Anexo.

4.2 Modelo SWMM5

A modelação com o SWMM5, compreende um período que começa no dia 1 de Outubro de 2005 e termina a 30 de Abril de 2008, uma vez que a última recolha de amostras para análise dos parâmetros da qualidade da água é realizada no dia 16 de Abril de 2008.

Como já foi referido, o SWMM5 requer um elevado número de dados de entrada, por vezes difíceis de medir directamente no campo, tendo de ser arbitrados alguns valores. Os parâmetros requeridos para aplicar o modelo foram obtidos a partir da caracterização fisiográfica, hidrológica e do tipo e uso do solo nas sub-bacias.

Para aplicar o modelo escolheu-se o método “Curve Number” do SCS para a infiltração e de estado estacionário para o escoamento nas condutas (linhas de água). O modelo foi configurado “Categories / Options / General” para usar unidades de m³.s⁻¹ para o caudal e foram introduzidas as datas de início e de final da simulação. Foram fixados os passos temporais em “Categories / Options / Time steps”:

-
- Reporting -1 dia
 - Runoff dry weather – 1 hora
 - Runoff wet weather – 15 min
 - Routing – 3600

As taxas de evaporação, dependendo do mês do ano, foram introduzidas em “Categories / Climatology / Evaporation” e escolhida a opção “Monthly Averages”.

As propriedades dos pluviómetros foram definidas em “Categories / Hydrology / Rain Gages”. Os valores de precipitação foram fornecidos com a data, para as 9 horas, em mm/h calculados a partir da precipitação total observada em 24 horas. Este valor foi considerado constante durante cada período de 24 horas. A precipitação que ocorre na área foi fornecida para o período de simulação com uma série temporal colada no editor “Categories / Time series” (a partir de dados em Excel).

As propriedades das sub-bacias foram definidas em “Categories / Hydrology / Subcatchments” e aí introduzidos:

- A área da sub-bacia;
- A largura característica do fluxo devido ao escoamento superficial (Width);
- A % média de inclinação da sub-bacia;
- A % da área impermeável;
- As constantes n de Manning para áreas impermeáveis e áreas permeáveis;
- A altura da água no armazenamento em depressão nas áreas impermeáveis e nas áreas permeáveis;
- Os parâmetros de infiltração referentes à sub-bacia, nomeadamente o valor do Curve Number, a condutividade e o tempo necessário para que um solo completamente saturado seque (Dry Time);
- Os parâmetros do caudal da água subterrânea, introduzidos no “Groundwater Flow Editor”, depois de criado o aquífero. Nele foram especificados os coeficientes que determinam o caudal da água subterrânea entre o aquífero e o nó e introduzida a cota da área da sub-bacia assente sobre o aquífero (Surface Elevation).

O editor de aquíferos foi definido em “Categories / Hydrology / Aquifers” e neste editor foram introduzidos a porosidade, o “wilting point”, o “Field Capacity”, a “Conductivity”, o “Bottom Elevation”, e a “Water Table Elevation”.

As ligações entre a sub-bacia, o aquífero e outras condutas foram representadas em “Categories / Hydraulics / Nodes / Junctions” escolhendo:

- A cota do fundo do nó (invert elevation)
- Condições de descarga normal

O nó de saída de uma conduita para o meio receptor foi representado em “Categories / Hydraulics / Nodes / Outfalls” escolhendo:

- A cota do fundo do nó

As linhas de água foram representadas em “Categories / Hydraulics / Links / Conduits” escolhendo:

- Nós (node) de entrada e de saída de cada conduita
- A elevação da conduita em relação ao fundo do nó “Offset”
- A forma da secção rectangular (shape) e introduzindo as dimensões típicas
- O comprimento das condutas

4.3 Obtenção dos dados de entrada do modelo SWMM5

Os parâmetros requeridos para aplicar o modelo foram obtidos a partir da caracterização fisiográfica, hidrológica e do tipo e uso do solo nas sub-bacias. Esta caracterização permitiu dividir cada bacia em sub-bacias com características médias distintas, tal como é sugerido em [37].

4.3.1 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação abrangem o período de 1 de Outubro de 2005 até 30 de Abril de 2008. Os valores de precipitação introduzidos, para cada bacia, foram estimados recorrendo aos dados recolhidos em estações meteorológicas disponibilizadas pelo SNIRH. [43]

No SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), em “Estações das Redes Seleccionadas”, seleccionaram-se as estações meteorológicas mais próximas do centro da bacia e validou-se a lista escolhida. Em seguida, em “Parâmetros com dados”,

selecionou-se a “Precipitação Diária” e em “Período de Análise” colocou-se de 1 de Outubro de 2005 a 30 de Abril de 2008. Em “Informação Disponível”, escolheu-se o parâmetro “Ver / Guardar Dados”. Depois de guardados os dados, estes foram tratados em ficheiro Excel. A precipitação diária para cada bacia calculou-se através da fórmula:

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i \times \frac{1}{X_i}}{\sum \frac{1}{X_i}} \quad (3)$$

Em que precipitação média diária corresponde à precipitação diária em cada uma das estações meteorológicas e X é a distância da estação ao centro da bacia. Esta distância calcula-se, conhecendo as coordenadas da estação e do centro da bacia aplicando o teorema de Pitágoras. Por fim, calculou-se a precipitação horária na bacia, pois é esta que entra no modelo.

4.3.2 Parâmetros das bacias e sub-bacias

Para aplicar o modelo a pequenas bacias hidrográficas que se afastam da situação simples de terem uma área com características homogéneas, foi feita a divisão da área em sub-bacias que correspondem a um canal de saída bem definido, ou seja uma linha de água que pode ser alimentada pela água subterrânea. Para cada sub-bacia foram fixados os valores dos parâmetros requeridos pelo modelo e considerou-se que o runoff entra no nó a montante de uma conduta com comprimento igual ao do rectângulo equivalente. O escoamento subterrâneo entra no nó a jusante dessa conduta.

A metodologia para obtenção das áreas e percentagem de inclinação dos terrenos das sub-bacias foi já explicada no Ponto 2.2.1. No SWMM5 a área entra em hectares (ha).

A largura característica do fluxo devido ao escoamento superficial (Width), que não é mais do que o percurso do escoamento sobre o terreno, foi considerada igual a metade da largura do rectângulo equivalente.

Os valores das constantes n de Manning para áreas impermeáveis e áreas permeáveis foram assumidos tendo em conta o tipo de ocupação do solo das sub-bacias, tendo em conta o Anexo C.3.4.

No que diz respeito aos parâmetros de infiltração referentes à sub-bacia, para aplicar o método SCS (Soil Conservation Service) foi escolhido o valor do “Curve Number” tendo em conta a conjugação dos tipos e usos de solo, representados na Figura 2.4 e na Figura

2.5, respectivamente. Para a escolha foi consultada a tabela do Anexo C.3.3. com valores de Número de Curva em função do tipo e uso do solo. Dependendo do tipo de solo, variam também os valores de condutividade hidráulica do solo completamente saturado (mm/h). O tempo necessário para que um solo completamente saturado seque (Dry Time) foi um valor assumido. Os valores típicos estão entre 2 e 14 dias.

A percentagem da área impermeável, respeitante à área impermeabilizada por estradas, foi obtida recorrendo ao uso de três ferramentas: os mosaicos de imagens obtidas através do “Live search maps” foram produzidos com o Adobe Photoshop Elements e georeferenciados com o programa Didger 4 para se obter um mapa com escala e coordenadas UTM. Depois criaram-se “layers” diferentes para cada uma das sub-bacias, cada “layer” com várias polylines que representam os vários troços das estradas, cuja soma representa o comprimento total das estradas. A área destas foi calculada assumindo um valor de 5 m para a largura, e multiplicando pelo comprimento obtido no programa Didger4. Este procedimento só foi seguido para as principais bacias da área de estudo já referidas. Para as restantes bacias, o valor da percentagem de impermeabilização foi assumido.

A percentagem de impermeabilização pelos edifícios foi determinada recorrendo à informação relativa ao número de edifícios por lugar, constante nos censos de 2001, fornecidos pelo INE. A cada sub-bacia limitada foi atribuído o número dos habitantes dentro da sub-bacia e o mesmo foi feito para os edifícios. Do número de edifícios em cada sub-bacia, multiplicado pela área de cada edifício, assumido como 130 m², resultou a área de impermeabilização pelos edifícios que se soma à área impermeabilizada pelas estradas e obtém-se a área impermeável da sub-bacia. Dividindo este valor pela área total da sub-bacia obtém-se a percentagem de impermeabilização de cada sub-bacia.

Os valores determinados, respeitantes à percentagem de impermeabilização para as principais bacias estudadas encontram-se no Anexo A1.

Os parâmetros do caudal da água subterrânea, são introduzidos no “Groudwater Flow Editor”, depois de criado o aquífero. Nele são especificados os coeficientes que determinam o caudal da água subterrânea entre o aquífero e o nó e introduzida a cota da superfície da sub-bacia assente sobre o aquífero (Surface Elevation). A cota média da sub-bacia foi calculada fazendo a média de todas as cotas dos extremos das linhas de água de 1ª ordem (adoptando que as linhas de linha de água de 1ª ordem correspondem à inclinação do terreno).

O comprimento total das linhas de água de cada sub-bacia foi considerado igual ao comprimento do rectângulo equivalente. À conduta que liga a área da bacia ao nó da linha de água principal foi atribuído este comprimento. A linha de água principal foi dividida em troços entre os nós que recebem as condutas proveniente das sub-bacias. Cada troço foi representado por uma conduta com comprimento correspondente ao da linha de água entre os nós.

5 Apresentação de resultados

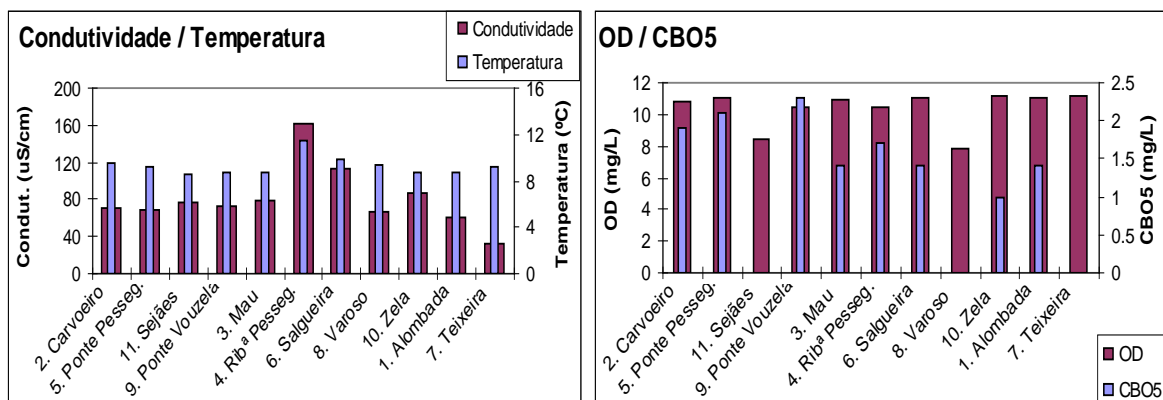
5.1 Resultados de qualidade da água

Será feita uma apresentação dos resultados da qualidade da água ao longo de 4 datas em que se recolheram amostras para análise em laboratório das características hidroquímicas da mesma, e também das medições realizadas “in situ”.

Além disso serão também apresentados os resultados obtidos da última saída de campo. Todos os resultados se encontram registados nas tabelas do Anexo B1.

5.1.1 Amostragem realizada em 23 de Novembro de 2007

Na amostragem do dia 23 de Outubro de 2007 foram amostrados 11 pontos indicados na Figura 5.1. Os primeiros quatro pontos (Carvoeiro, ponte de Pessegueiro, ponte de Sejães e ponte de Vouzela) são no próprio rio Vouga, e os restantes pontos são em afluentes do rio Vouga. Nos gráficos a sequência destes pontos diz respeito ao tipo predominante do uso de solo na área de cada sub-bacia de acordo com a classificação feita no ponto 2.2.3. Assim sendo, os pontos 3, 4, 6, 8 e 10 dizem respeito a uma área urbana / agrícola e os pontos 1 e 7 a uma área florestal. Na Figura 5.1 está representada a evolução dos parâmetros da qualidade da água nos vários pontos de amostragem nesta data.



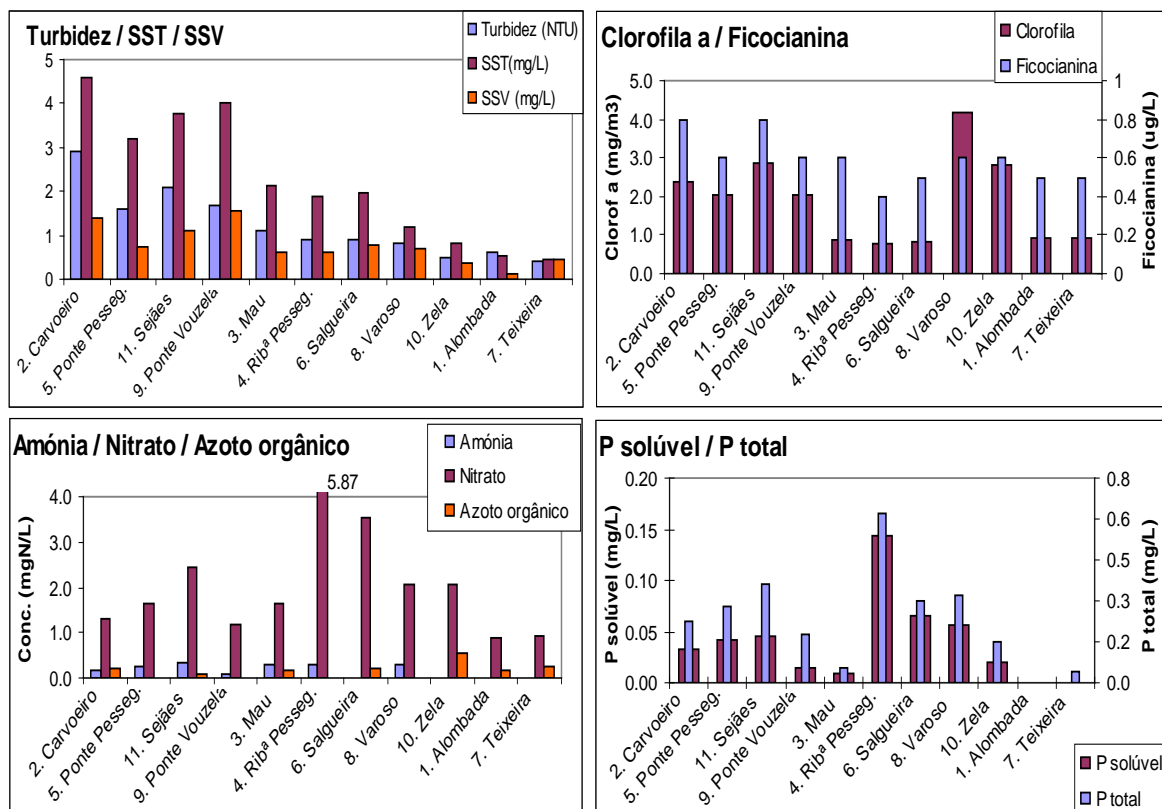


Figura 5.1 – Evolução dos parâmetros da qualidade da água nos vários pontos de amostragem, no dia 23 de Novembro de 2007

5.1.2 Amostragem realizada em 23 de Janeiro de 2008

Na saída de campo do dia 23 de Janeiro de 2008 além dos pontos amostrados no dia 23 de Outubro de 2007, foram ainda adicionados dois pontos. Os pontos adicionados são o ponto 13, na ribeira da ponte de Aiza, classificada como área agrícola e o ponto 12, na ribeira da Landeira, que embora pertença à bacia do rio Varoso (área agrícola) é classificada como área florestal. Os resultados da evolução da qualidade da água ao longo dos pontos amostrados encontram-se representados nos gráficos da Figura 5.2.

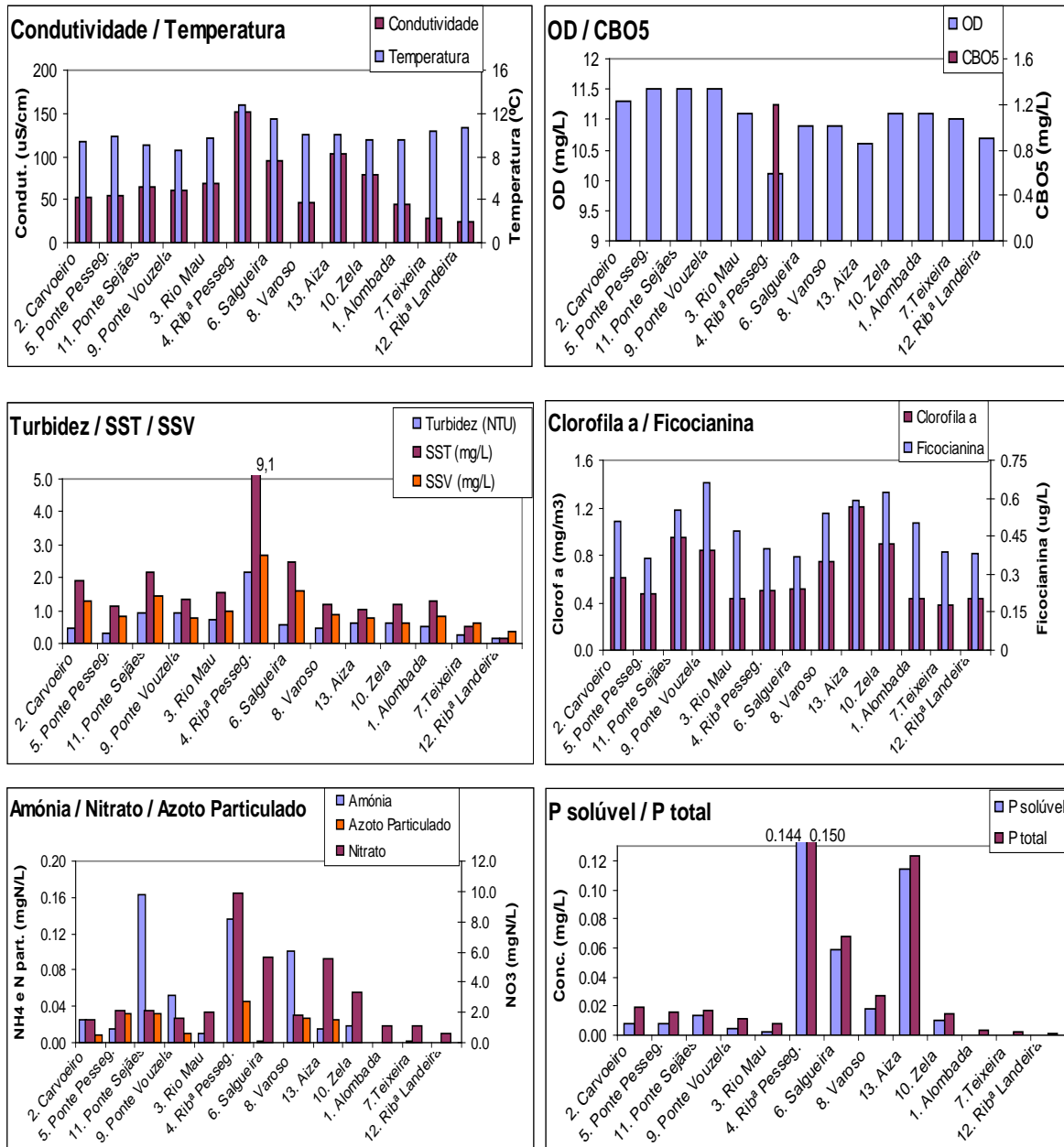


Figura 5.2 – Evolução dos parâmetros de qualidade da água, nos vários pontos de amostragem, no dia 23 de Janeiro de 2008

5.1.3 Amostragem realizada em 25 de Fevereiro de 2008

Esta saída de campo teve como objectivo testar a influência da precipitação intensa na concentração de nitrato no rio. Foi realizada em seis pontos específicos: dois pontos na bacia da ribeira da Alombada, o ponto 1, comum às outras amostragens, junto à foz da ribeira da Alombada e o ponto 1A situado mais a montante, na área agrícola, no lugar de Penouços; dois pontos na bacia do rio Mau, o ponto 3 mesmo na foz e o ponto 3A mais a montante, numa área florestal denominada Minas do Braçal; e por fim, dois pontos na bacia do rio Varoso, o ponto 8 na ponte do rio Varoso, depois da junção do rio Varoso com a Ribeira da Landeira, e o ponto 12 mais a montante, na ribeira da Landeira, classificada como área florestal. Os resultados da evolução da qualidade da água ao longo dos pontos amostrados encontram-se representados nos gráficos da Figura 5.3.

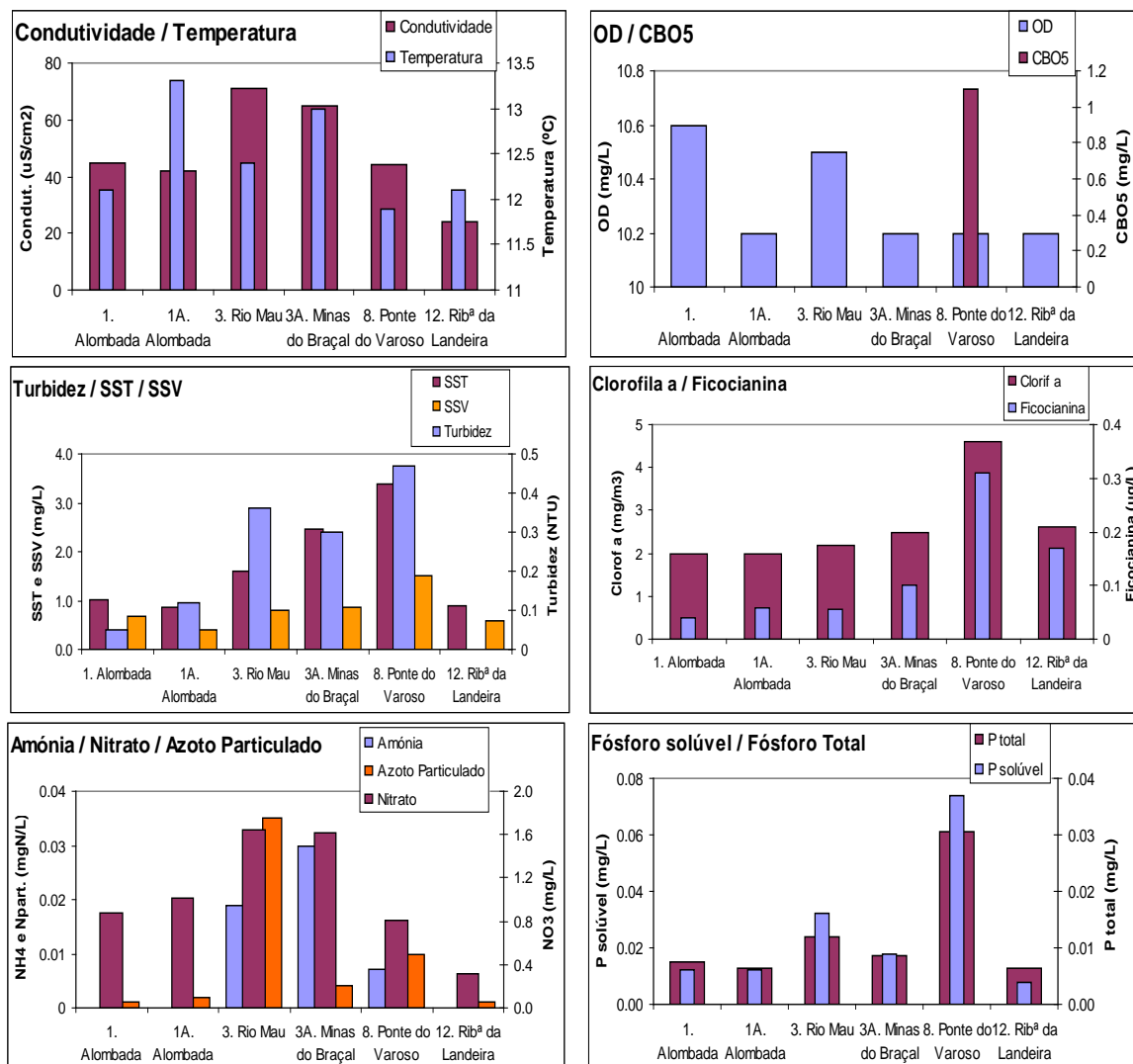
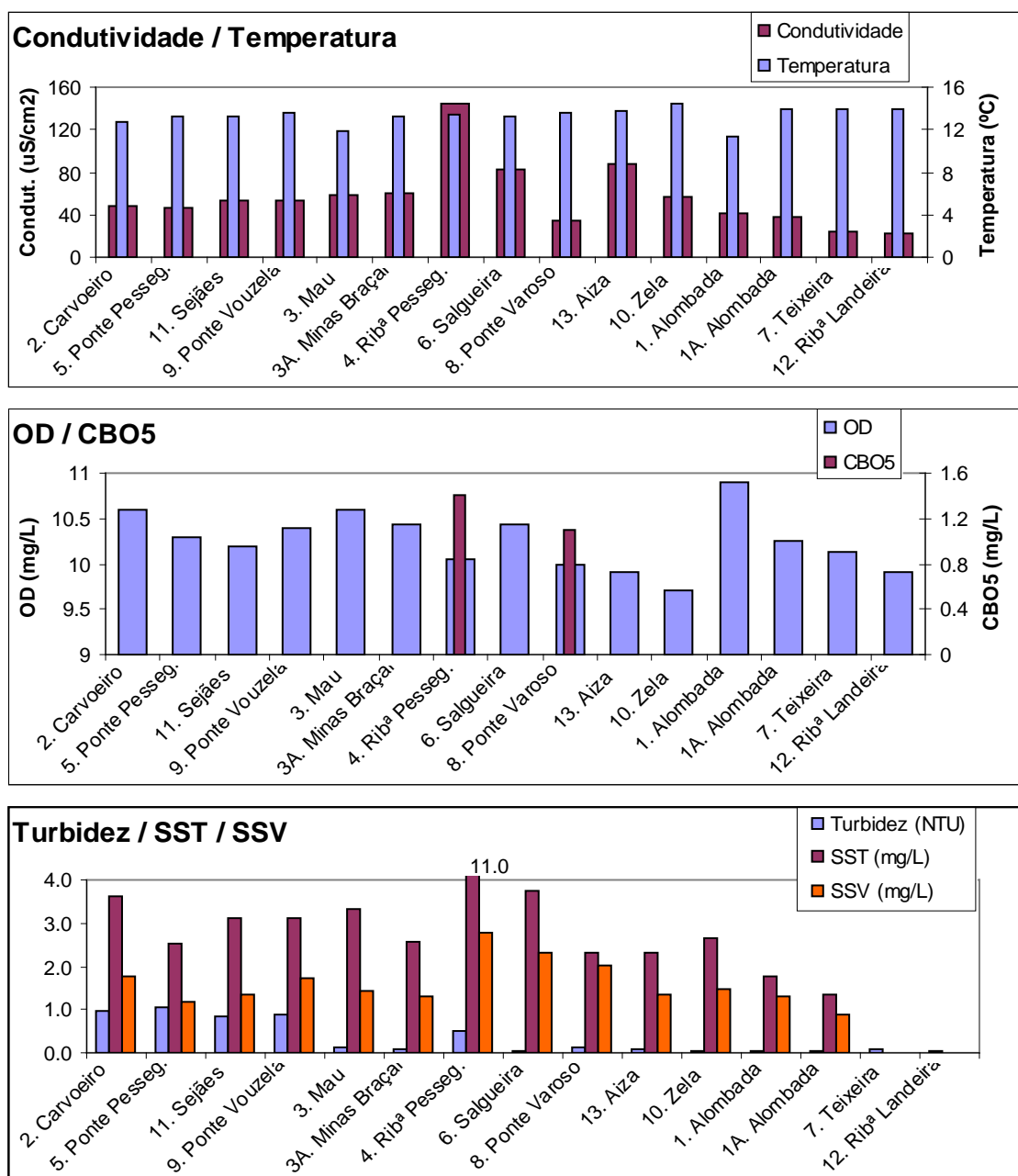


Figura 5.3 – Evolução dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de amostragem, no dia 25 de Fevereiro de 2008

5.1.4 Amostragem realizada em 15 e 16 de Abril de 2008

A última saída de campo com o objectivo de avaliar a qualidade da água ao longo do rio Vouga até chegar ao Carvoeiro, realizou-se em dois dias, os dias 15 e 16 de Abril de 2008, devido à quantidade de pontos de amostragem. Foram amostrados 15 pontos, já referidos nas amostragens anteriores. Os resultados da evolução da qualidade da água ao longo dos pontos amostrados encontram-se representados nos gráficos da Figura 5.4.



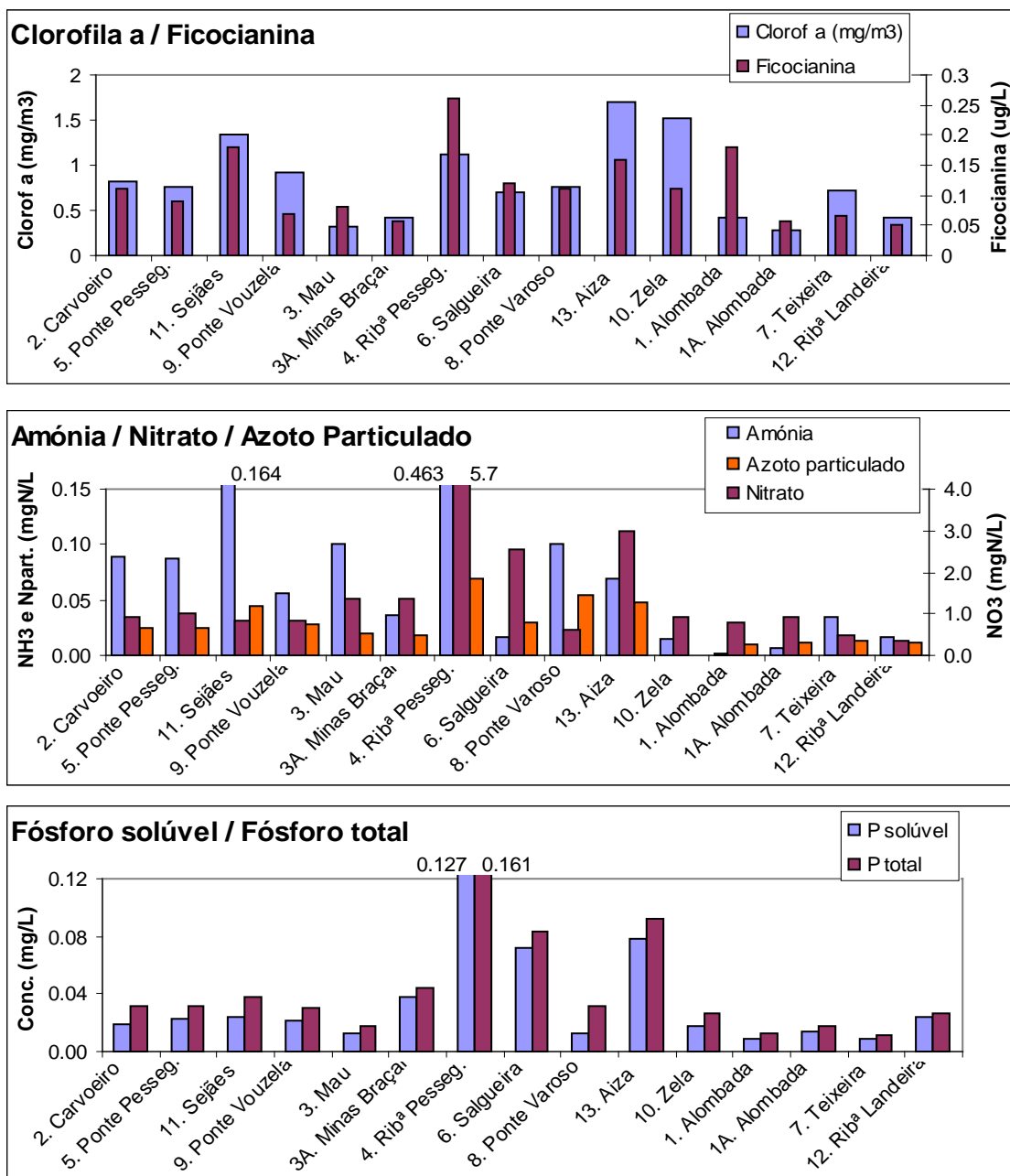


Figura 5.4 – Evolução dos parâmetros de qualidade da água nos vários pontos de amostragem, nos dias 15 e 16 de Abril de 2008

5.1.5 Amostragem realizada em 22 e 23 de Julho de 2008

A saída de campo do dia 22 e 23 de Julho de 2008 contou com a recolha de algumas amostras para a medição de CBO_5 no laboratório e medição de alguns parâmetros de qualidade da água no local. O primeiro ponto amostrado, o ponto B1, situa-se na Ponte Nova, no rio Vouga. O ponto G2 corresponde ao local da descarga de um efluente proveniente da ETAR de Valgode, depois da confluência do rio Zela com o rio Vouga. O ponto H3 situa-se na ribeira de Oliveira de Frades que recebe a descarga da ETAR deste concelho. O ponto I4 situa-se na praia fluvial de Sejães, a montante da descarga de ETAR compacta de Pinheiro de Lafões e o ponto J5 a jusante da descarga. Por último, o ponto amostrado foi na ponte de Antim, no rio Varoso, junto a um matadouro de aves que recebe os efluentes tratados do mesmo (L6, ponte de Antim). Os resultados obtidos da qualidade da água nestes pontos encontram-se representados nos gráficos da Figura 5.5.

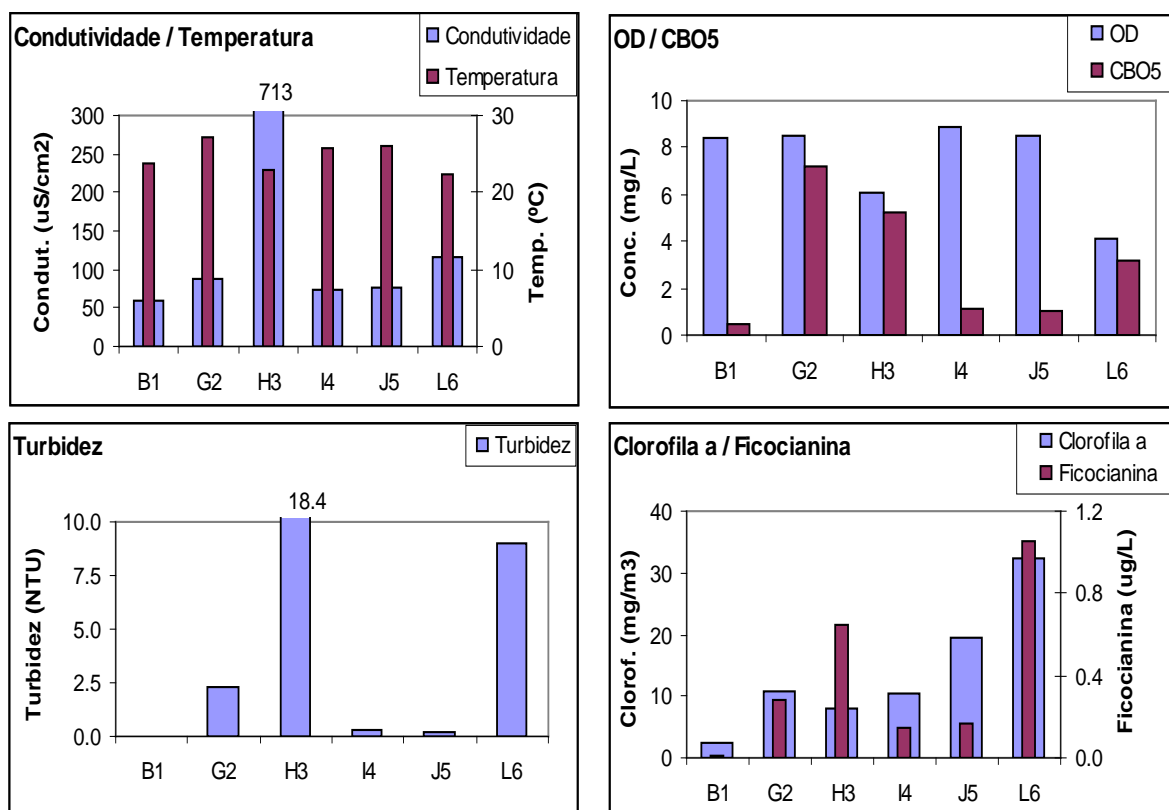


Figura 5.5 – Resultados obtidos da análise de qualidade da água, para avaliar riscos de poluição associados a descargas poluentes

5.2 Aplicação do modelo SWMM5 para determinar caudais

5.2.1 Resultados da medição de caudais no campo

O trabalho de campo compreendeu a medição de parâmetros da qualidade da água e a medição de caudais em três locais, em 4 datas programadas para o efeito. Os valores de caudal da Tabela 5.1 estão em m³/s.

Tabela 5.1 – Resultados da medição de Caudais em 2007/2008

Dia	Bacia		
	Ribeira da Alombada	Rio Mau	Carvoeiro
25 de Março de 2007	0.540*	0.910*	
6 de Junho de 2007	0.180*	0.250*	
23 de Novembro de 2007	0.076		6.797
23 de Janeiro de 2008	0.531	0.383	
25 de Fevereiro de 2008	0.255	0.222	
15 de Abril de 2008	0.970	1.040	

* resultados obtidos num estudo anterior [45]

Em relação à medição dos caudais, registados na Tabela 5.1, salienta-se o facto de junto ao Carvoeiro, esta ter sido efectuada uma única vez, no dia 23 de Novembro de 2007, quando os caudais eram baixos. Nas restantes datas, não foi possível fazer a medição neste ponto. No dia 23 de Novembro de 2007 não foi efectuada a medição do caudal no rio Mau, uma vez que neste ponto o caudal baixo torna a medição imprecisa.

5.2.2 Estimativa dos parâmetros de caracterização das bacias

A largura característica das sub-bacias é um dos principais parâmetros de entrada no modelo SWMM5. Como já foi referido no capítulo anterior foi determinada através do cálculo das dimensões do rectângulo equivalente e corresponde a metade da largura do mesmo. Na Tabela 5.2 e Tabela 5.3 estão indicados os principais parâmetros de entrada do modelo SWMM5, entre eles a largura característica média das bacias. A informação contida nestas tabelas indica quais os parâmetros necessários à aplicação do modelo e como estes variam nas diversas bacias. No Anexo C4 encontram-se os parâmetros de entrada de todas as bacias, divididos nas sub-bacias, bem como os mapas de

representação de cada uma delas, no modelo SWMM5. No que diz respeito à largura característica do escoamento, esta varia nas bacias, sendo na ordem dos 600 m na Ribeira de Pessegueiro, e atingindo os quase 1500 m no rio Teixeira. O valor de L_e representado na Tabela 5.2 e na

Tabela 5.3 corresponde à soma dos comprimentos dos rectângulos equivalentes das sub-bacias.

Os valores de inclinação superficial nas bacias estão compreendidos entre 17.1% na Ribeira da Ponte de Aiza e os 28.7% na Ribeira da Salgueira.

No que diz respeito à impermeabilização do solo, esta depende do tipo de ocupação do solo, que varia nas sub-bacias: em algumas a área impermeável é devida unicamente à passagem de estradas que ligam localidades; noutras sub-bacias a percentagem de impermeabilização pode atingir os 5%, como é o caso da Ribeira de Pessegueiro.

Quando ao coeficiente n de Manning para o escoamento superficial, foi assumido um valor entre 0.011 a 0.015 para solos impermeáveis e 0.16 a 0.6 para solos permeáveis. Anexo.

O tipo hidrológico do solo escolhido foi o B e o C dependendo da sub-bacia. De acordo com o tipo e ocupação do solo, os valores de “Curve Number” utilizados, estiveram compreendidos entre 55 e 85 (ver Anexo), que dependem de predominar uso do solo tipo floresta, pastagens com boas condições e suburbano. No que se refere à condutividade do solo completamente saturado foi assumido um valor de 2.5 mm/h e o tempo de secagem do solo 5 dias.

Relativamente aos parâmetros da água subterrânea (ponto 3.2.1.2), foi assumido o valor de 0 para os coeficientes relativos à entrada de água superficial no aquífero (A_2/A_3) e para o coeficiente relativo à descarga de água subterrânea nas linhas de água (A_1) o valor assumido varia entre 0,01 e 0,1. Os valores do expoente B_1 estão compreendidos entre 2 e 4. Para o nível limiar da água (E) foi assumido o valor de 10 metros abaixo da cota da superfície da sub-bacia.

No que se refere ao aquífero, o solo da área em estudo apresenta características de solo franco argiloso e franco siltoso. De acordo com o tipo de solo, foram assumidos os valores de porosidade (porosity), o ponto de emurchecimento (wilting point), o valor de humidade do solo depois de toda a água ser drenada (field capacity), e a condutividade hidráulica do solo completamente saturado (conductivity) – Anexo C.3.2. Para a cota da

base do aquífero foi admitido um valor cerca de 10 metros abaixo da cota da superfície e igual valor para a cota do nível freático no início da simulação.

Tabela 5.2 – Parâmetros de entrada no modelo SWMM5, nas bacias da área de estudo (bacia 1-9)

	Parâmetro	Expressão dos Resultados	1. Ribeira da Alombada	2. Rio Mau	3. Ribeira de Pessegueiro	4. Ribeira da Salgueira	5. Rio Grosso	6. Rio Arões	7. Rio Teixeira	8. Rio Gaia	9. Ribeira do Covelo
Subcatchment	Area	Área total (ha)	2416	3081	580	1161	1162	2497	7274	1569	938
	Width	Valor médio (m)	655	763	583	947	821	1262	1466	1089	817
	% Slope	Valor médio (%)	25	26.8	19.3	28.7	26.1	19.5	23.15	22.8	19.58
	% Imperv	Valor médio (%)	1.28	1.86	4.83	2.75	1	2.08	1.23	1	1
	N-Imperv	Valor médio (m)	0.013	0.012	0.011	0.013	0.011	0.011	0.013	0.011	0.011
	N-Perv	Valor médio (m)	0.32	0.267	0.23	0.193	0.29	0.3	0.488	0.2	0.32
	Curve Number	Valor médio	69	76	78	71	60	66	65	65	65
	Surface Elevation	Valor médio (m)	357	292	264	388	311	510	670	217	155
	Groundwater Flow Coeff.	Valor médio	0.15	0.04	0.06	0.1	0.06	0.05	0.01	0.04	0.07
	Groundwater Flow Expon.	Valor médio	2	2	2	3	2	2.5	2	3	2
Aquifer Editor	Porosity (fraction)	Valor médio	0.452	0.45	0.45	0.45	0.442	0.464	0.398	0.501	0.464
	Wilting Point (fraction)	Valor médio	0.124	0.136	0.136	0.136	0.17	0.187	0.136	0.135	0.187
	Field Capacity (fraction)	Valor médio	0.241	0.264	0.264	0.264	0.288	0.31	0.244	0.31	0.31
	Conductivity (mm/h)	Valor médio	4.8	4.06	4.06	4.06	1.19	1.02	1.52	6.6	1.02
conduits	Le	Le total (m)	18453	20197	4974	6127	7173	9895	24817	7205	5741
	Máx. Depth	m	2		2	2	4	4	6	4	4
	Bottom Width	m	6		4	4	8	8	8	8	8
	Outfall - Invert Elevation	m	9	10	20	30	45	46	53	56	62

Tabela 5.3 - Parâmetros de entrada no modelo SWMM5, nas bacias da área de estudo (bacia 10-18)

	Parâmetro	Expressão dos Resultados	10. Rio Frio	11. Ribeira do Pinguinho	12. Rio Varoso	13. Ribeira da Ponte de Aiza	14. Rio Zela	15. Interbacia1	16. Interbacia2	17. Interbacia3	18. Interbacia4
Subcatchment	Area (ha)	Área total (ha)	549	452	6314	1737	1896	1438	3362	2035	3129
	Width	Valor médio (m)	605	623	1426	657	1192	612	975	662	907
	% Slope	Valor médio (%)	23.57	20.94	21.8	17.1	18.9	26.5	24.83	24.64	25.91
	% Imperv	Valor médio (%)	2	1	1.48	3.02	3.802	0.1	0.1	0.1	0.1
	N-Imperv	Valor médio (m)	0.011	0.011	0.011	0.013	0.013	0.013	0.011	0.012	0.013
	N-Perv	Valor médio (m)	0.27	0.2	0.27	0.16	0.16	0.25	0.23	0.4	0.17
	Curve Number	Valor médio	65	70	67	70	60	65	65	65	65
	Surface Elevation (m)	Valor médio (m)	141	164	551	452	556	116	187	281	258
	Groundwater Flow Coeff.	Valor médio	0.03	0.03	0.01	0.09	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01
	Groundwater Flow Expon.	Valor médio	4	4	2	2	2	2	2	2	2
Aquifer Editor	Porosity (fraction)	Valor médio	0.501	0.501	0.424	0.398	0.398	0.464	0.464	0.398	0.398
	Wilting Point (fraction)	Valor médio	0.135	0.135	0.154	0.187	0.187	0.136	0.187	0.136	0.187
	Field Capacity (fraction)	Valor médio	0.31	0.284	0.27	0.31	0.31	0.284	0.31	0.244	0.284
	Conductivity (mm/h)	Valor médio	6.6	6.6	1.32	1.02	1.02	4	1.02	3	4
Conduits	Le	Le total (m)	4540	3628	22144	13229	7954	11743	17244	15377	17242
	Máx. Depth	m	4	4	7	2	6	8	8	8	8
	Bottom Width	m	8	8	10	6	8	12	12	12	12
	Outfall - Invert Elevation	m	73	83	98	110	130	8	20	53	83

5.2.3 Simulação dos Caudais

Para verificar o ajuste dos resultados obtidos com o modelo SWMM5, procedeu-se à comparação entre os caudais simulados no SWMM5 e os caudais medidos no campo para as diferentes datas, na ribeira da Alombada e na foz do rio Mau, conforme a Figura 5.6 e a Figura 5.7. Além dos quatro dias em que foi efectuada a medição do caudal, para o ajuste, foram também usados valores registados em duas datas anteriores. Estes valores foram retirados do relatório de Letra e Rodrigues (2007) [45] e encontram-se numa tabela no Anexo C1.

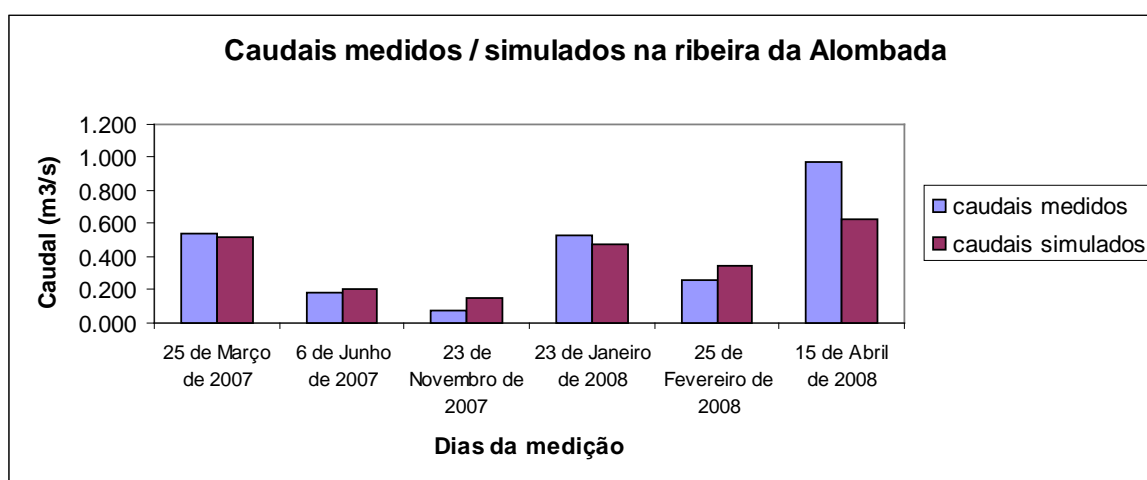


Figura 5.6 – Comparação entre os dados medidos e os dados simulados para as diferentes datas, na ribeira da Alombada

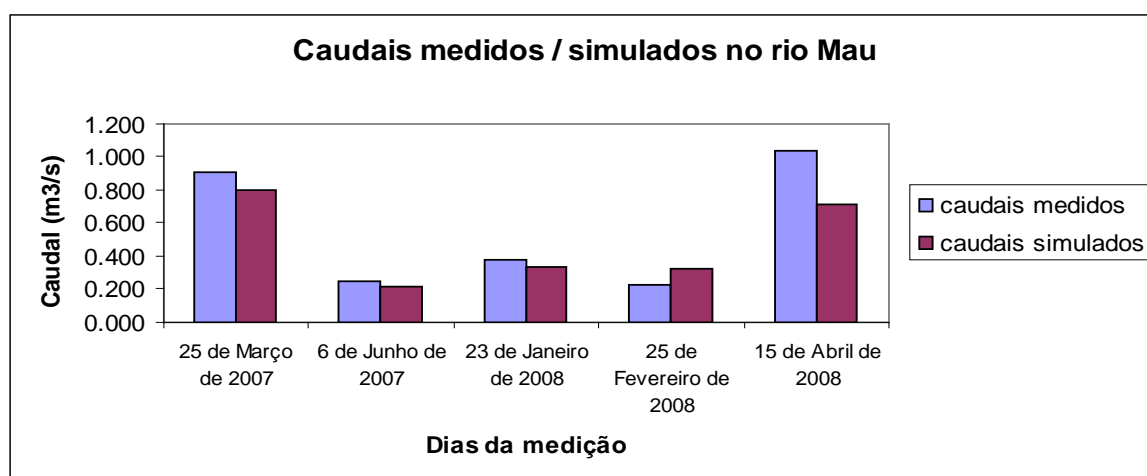


Figura 5.7 – Comparação entre os dados medidos e os dados simulados para as diferentes datas, no rio Mau

Tomando como exemplo as bacias da ribeira da Alombada e do rio Mau, apresenta-se os hidrogramas correspondentes aos dados simulados pelo modelo SWMM5.

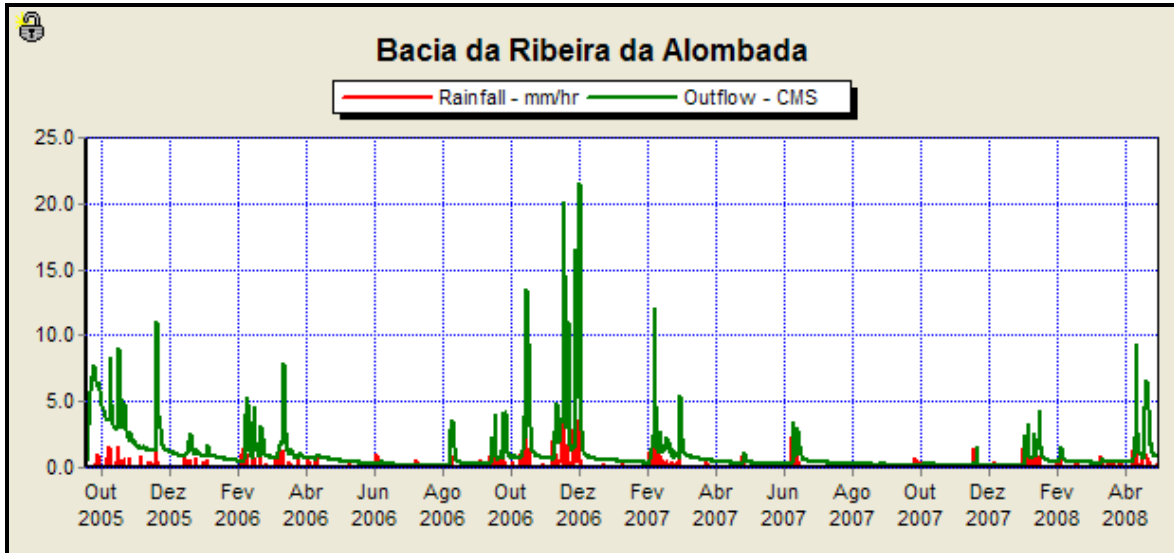


Figura 5.8 – Representação gráfica dos caudais da bacia da ribeira da Alombada

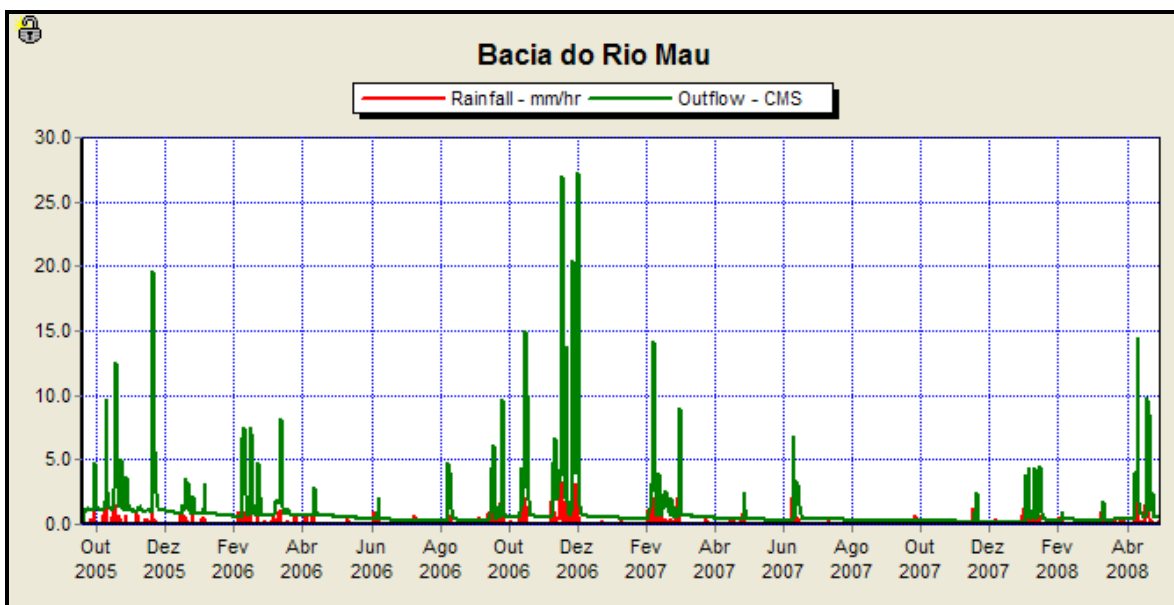


Figura 5.9 – Representação gráfica dos caudais da bacia do rio Mau

Tabela 5.4 – Valores dos caudais simulados pelo SWMM5 nas datas em que foi feita a recolha de amostras para análise da qualidade da água, nas bacias em estudo.

Bacias	Datas			
	23-Nov-07	23-Jan-08	25-Fev-08	15-Abr-08
1. Ribeira da Alombada	0.15	0.47	0.35	0.63
2. Rio Mau	0.15	0.38	0.34	0.62
3. Ribeira de Pessegueiro	0.04	0.06	0.06	0.10
4. Ribeira da Salgueira	0.31	0.25	0.15	0.32
5. Rio Gresso	0.12	0.29	0.20	0.33
6. Rio Arões	0.25	0.60	0.40	0.70
7. Rio Teixeira	0.79	1.80	1.17	2.58
8. Rio Gaia	0.14	0.37	0.28	0.43
9. Ribeira do Covelo	0.10	0.22	0.15	0.31
10. Rio Frio	0.05	0.14	0.10	0.16
11. Ribeira do Preguinho	0.04	0.09	0.08	0.03
12. Rio Varoso	0.61	1.40	1.34	3.02
13. Ribeira da Ponte de Aiza	0.11	0.27	0.18	0.33
14. Rio Zela	0.25	0.63	0.43	1.28
15. Interbacia1	0.17	0.25	0.21	0.29
16. Interbacia2	0.52	0.61	0.58	0.89
17. Interbacia3	0.37	0.60	0.57	1.34
18. Interbacia4	0.33	0.60	0.53	0.73
Carvoeiro	4.51	9.03	7.14	14.10

Na Tabela 5.4 estão indicados todos os valores de caudais obtidos da simulação do modelo nas bacias consideradas. Através destes valores foi possível ver a evolução do caudal ao longo do troço do rio Vouga estudado, como está representado na Figura 5.10.

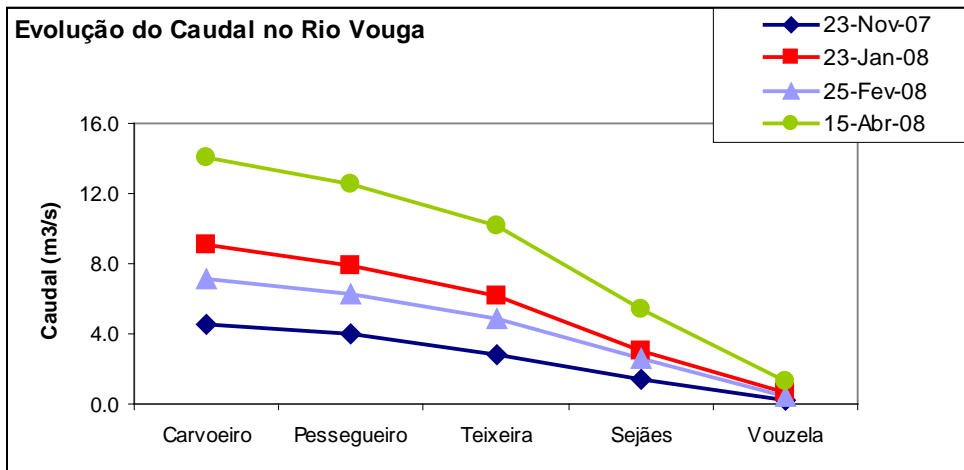


Figura 5.10 – Evolução do Caudal ao longo do Rio Vouga

5.3 Evolução temporal dos resultados

Tendo em vista o objectivo primordial da presente dissertação que é o estudo da relação entre o caudal e os parâmetros da qualidade da água no troço do rio Vouga estudado, a montante da captação do Carvoeiro, torna-se necessário fazer uma apresentação de resultados que ponha lado a lado os resultados da simulação de caudais e os resultados obtidos da análise hidroquímica da água. Esta apresentação será feita para as quatro datas em que foi feita a recolha de amostras e somente para as bacias em que foram amostrados pontos.

5.3.1 Bacias em que predomina a floresta

5.3.1.1 Bacia da ribeira da Alombada

O caudal máximo observado foi 0,6 m³/s em Abril de 2008. A condutividade máxima ocorreu em Novembro e a concentração máxima de nitrato foi observada em Janeiro, com decréscimo nos meses seguintes. O máximo de SST foi registado em Abril. O fósforo solúvel apresentou valores muito baixos, inferiores ao limite de detecção do método usado para a sua determinação. Verifica-se uma variação elevada nos parâmetros de Novembro para Abril, como se observa na Figura 5.12 com o aumento do caudal, conforme se vê na Figura 5.11.

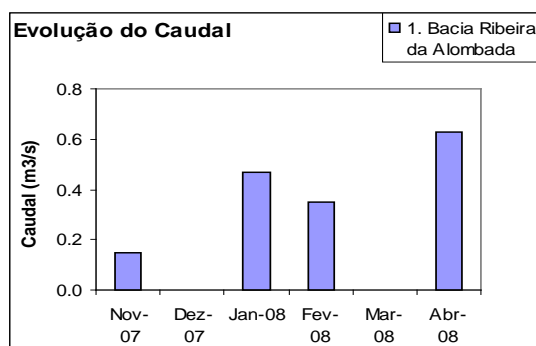


Figura 5.11 – Caudal na bacia da ribeira da Alombada simulado no SWMM5

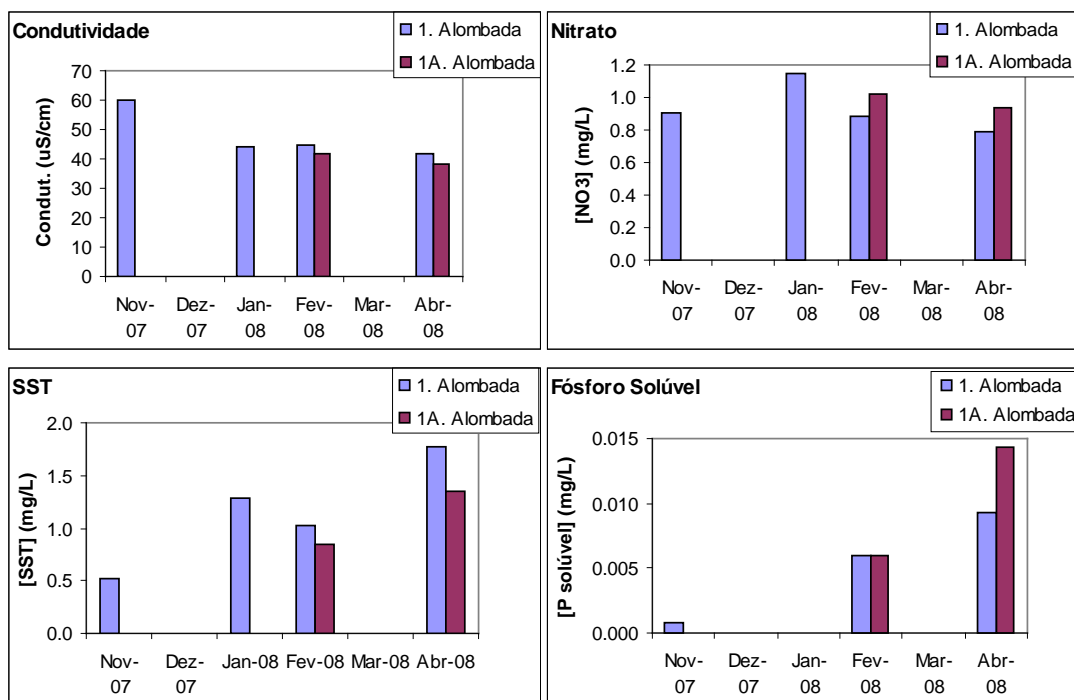


Figura 5.12 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira da Alombada, nos dois pontos de amostragem

5.3.1.2 Bacia do rio Teixeira

A evolução do caudal e dos parâmetros de qualidade do rio Teixeira, ao longo das 4 datas de amostragem encontram-se na Figura 5.13 e na Figura 5.14, respectivamente. O caudal do rio Teixeira atingiu os 2,5 m³/s em Abril. A condutividade máxima ocorreu em Novembro e a concentração máxima de nitrato foi observada em Janeiro. O máximo de SST foi registado em Abril. A concentração de fósforo solúvel foi inferior ao limite de detecção.

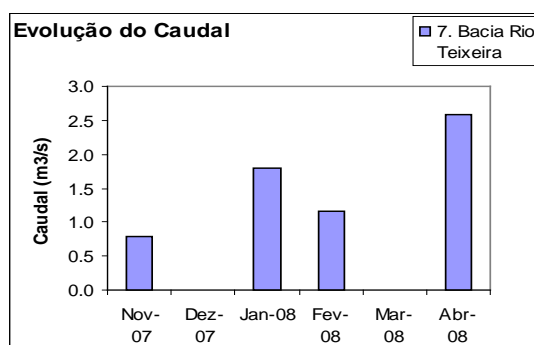


Figura 5.13 – Evolução do caudal na bacia do rio Teixeira

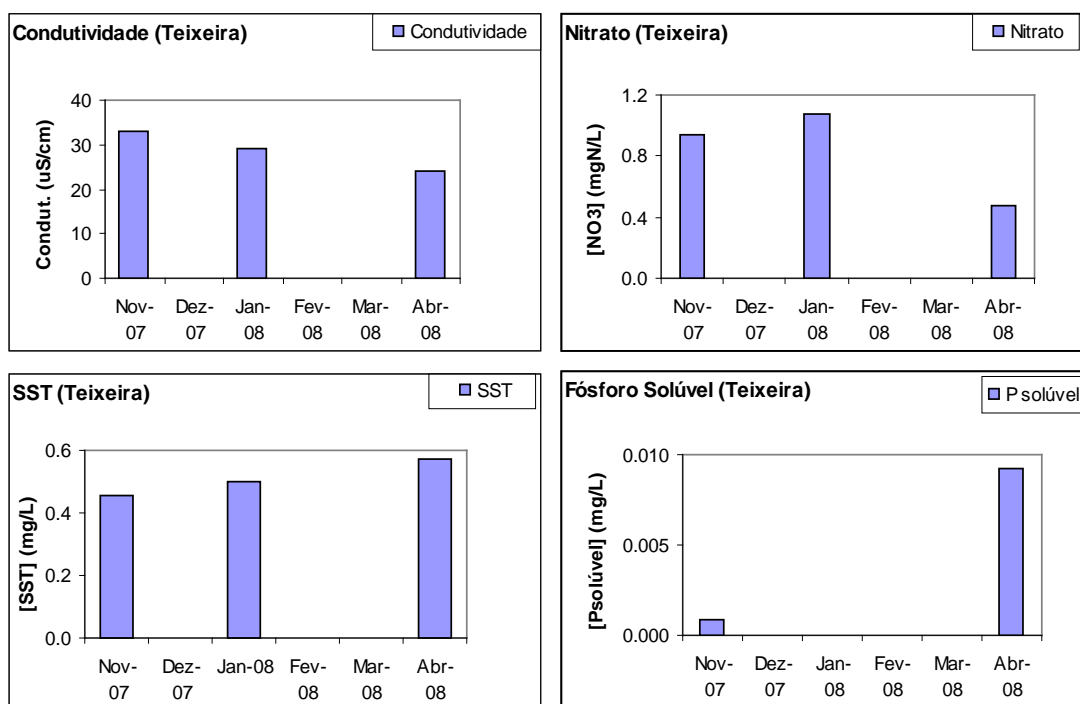


Figura 5.14 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Teixeira

5.3.2 Bacia mista Floresta e Agrícola

5.3.2.1 Bacia do rio Mau

O caudal máximo do rio Mau foi 0,6 m³/s em Abril. A condutividade máxima ocorreu em Novembro e a concentração máxima de nitrato foi observada em Janeiro. O máximo de SST foi registado em Abril. A concentração de fósforo solúvel foi máxima em Abril nas Minas do Braçal, e superior ao fósforo solúvel na foz do rio Mau. No que diz respeito à condutividade e à concentração de nitrato verifica-se pouca diferença nos pontos 3 e 3A, ao contrário do que acontece com os SST e o fósforo solúvel. Observou-se uma variação dos parâmetros de qualidade (Figura 5.16) com o aumento acentuado de caudal (Figura 5.15).

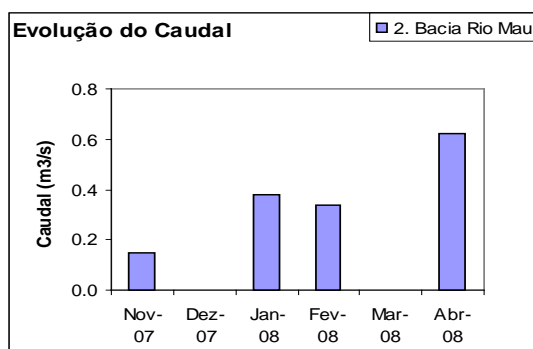


Figura 5.15- Evolução do caudal na bacia do rio Mau

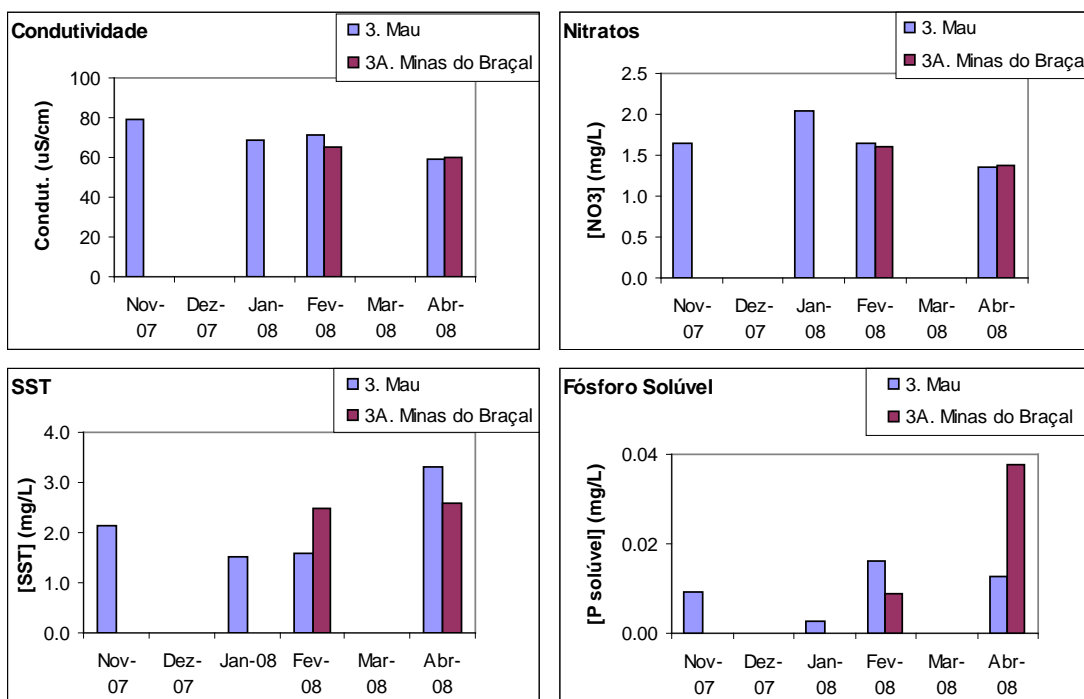


Figura 5.16 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Mau, nos dois pontos de amostragem

5.3.2.2 Bacia do rio Varoso

A evolução do caudal e dos parâmetros de qualidade do rio Varoso, ao longo das 4 datas de amostragem encontram-se na Figura 5.17 e na Figura 5.18, respectivamente. O caudal máximo do rio Varoso foi 3,0 m³/s em Abril. A condutividade máxima e a concentração máxima de nitrato ocorreu em Novembro. O máximo de SST foi registado em Fevereiro. A concentração de fósforo solúvel foi máxima em Novembro. De um modo geral, os valores dos parâmetros na ribeira da Landeira são mais baixos do que no rio Varoso, com excepção do valor de fósforo solúvel em Abril. Verificaram-se grandes variações dos parâmetros de qualidade da água, com a variação acentuada do caudal.

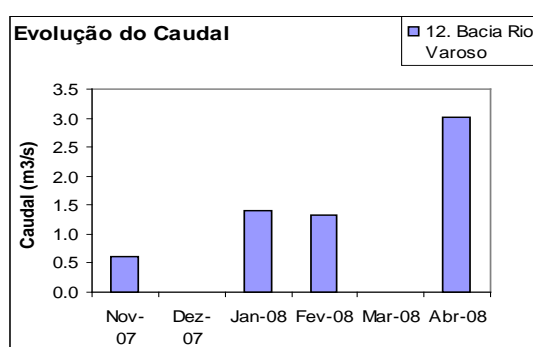


Figura 5.17 – Evolução do caudal na bacia do rio Varoso

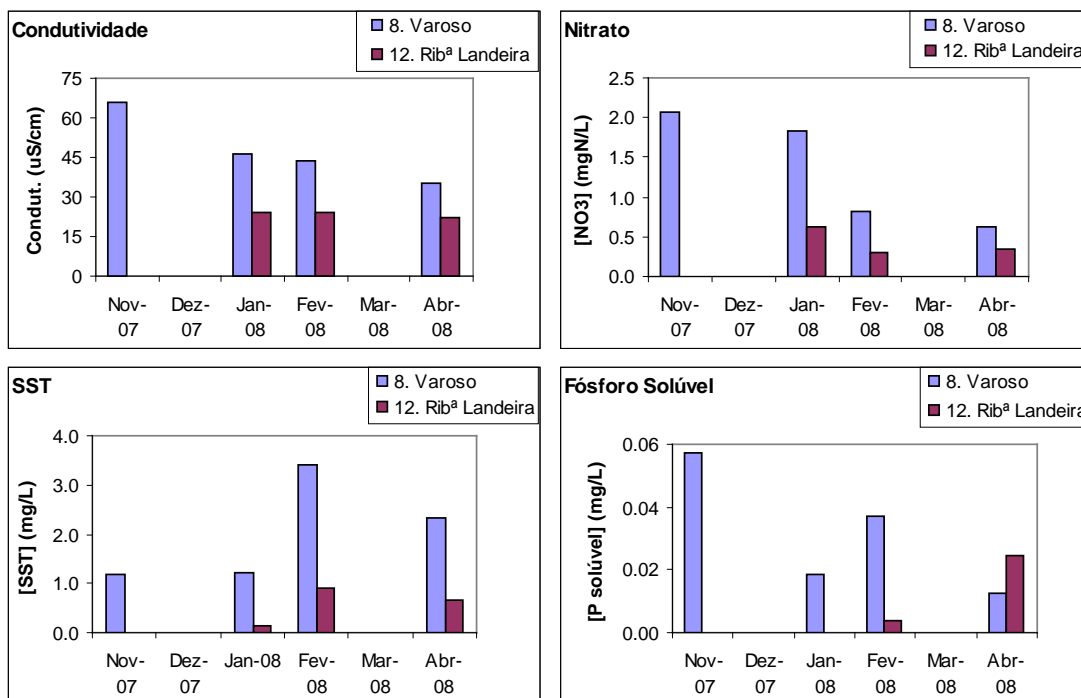


Figura 5.18 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Varoso, nos dois pontos de amostragem

5.3.3 Bacias em que predominam áreas agrícolas

5.3.3.1 Bacia da ribeira da Salgueira

O caudal máximo da ribeira da Salgueira foi 0,32 m³/s em Abril. A condutividade máxima ocorreu em Novembro. A concentração máxima de nitrato foi observada em Janeiro e Abril. A concentração de SST e a concentração de fósforo solúvel foi máxima em Abril. De um modo geral observou-se uma variação não muito acentuada dos parâmetros de qualidade da água (Figura 5.20) que coincidiu com a baixa variação do caudal nesta bacia (Figura 5.19). Apenas nos SST se verifica um aumento mais significativo de Novembro para Abril, com o aumento de caudal da ribeira da Salgueira.

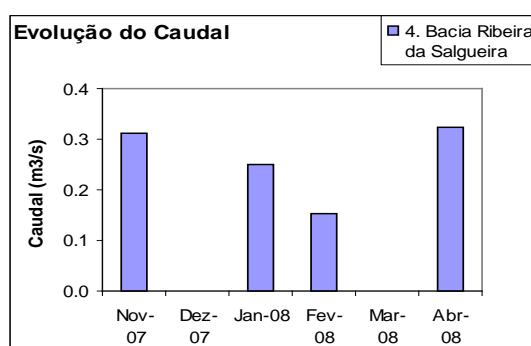


Figura 5.19 – Evolução do caudal na bacia da ribeira da Salgueira

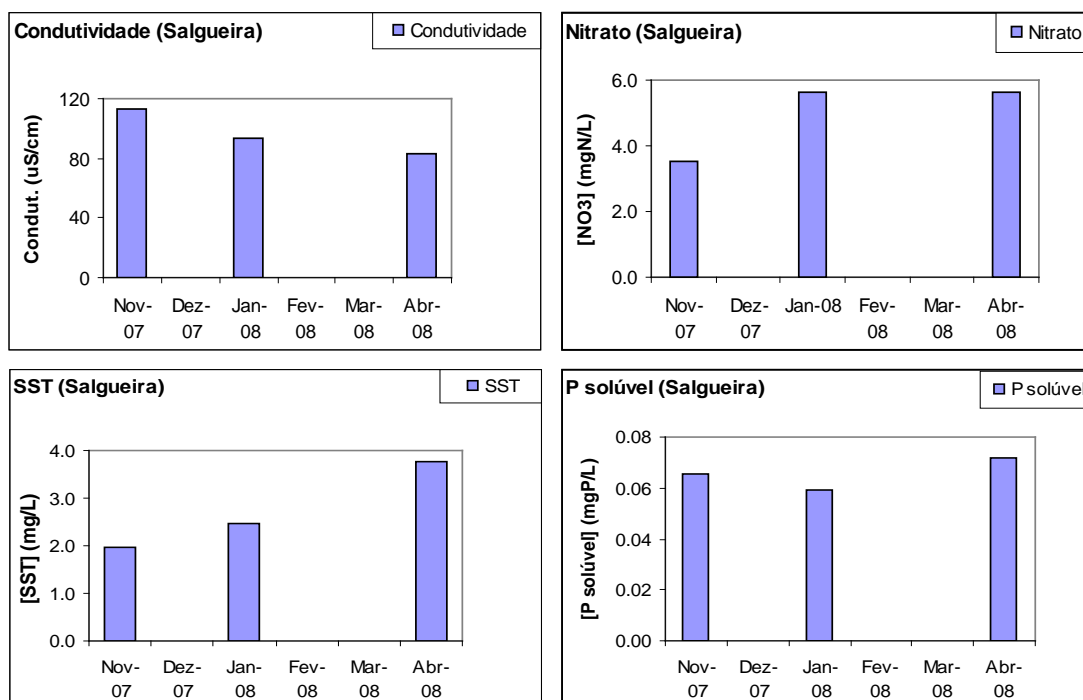


Figura 5.20 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira da Salgueira

5.3.3.2 Bacia da ribeira da ponte de Aiza

Na ribeira da ponte de Aiza, apenas foram efectuadas duas amostragens, uma em Janeiro e a outra em Abril. Observou-se um aumento significativo de caudal entre as duas datas, atingindo os 0.33 m³/s. Verificou-se um aumento dos SST em Abril e diminuição da condutividade e da concentração nitrato e fósforo solúvel. As variações são bastante significativas com o aumento do caudal. As concentrações de nitrato e fósforo são elevadas nas duas datas.

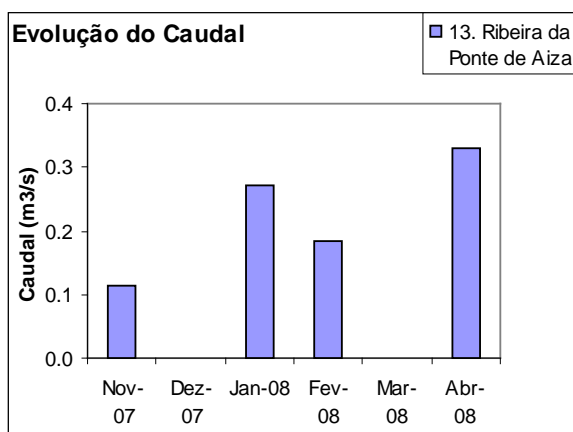


Figura 5.21 – Evolução do caudal na bacia da ribeira da ponte de Aiza

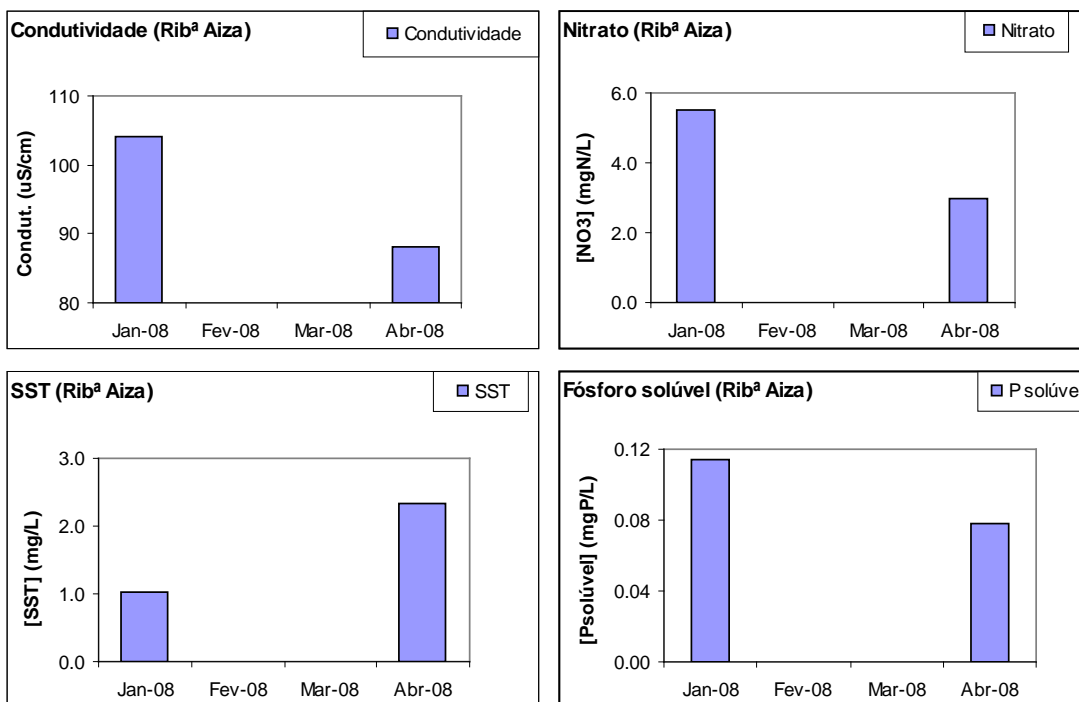


Figura 5.22 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira da ponte de Aiza

5.3.3.3 Bacia do rio Zela

O caudal máximo no rio Zela observado foi 1,3 m³/s em Abril. A condutividade máxima ocorreu em Novembro. A concentração de SST triplicou de Novembro para Abril, sendo máxima neste mês. A concentração máxima de nitrato foi observada em Janeiro com decréscimo acentuado em Abril. A concentração de fósforo solúvel observada é muito baixa, não tendo grande significado a sua variação. Nesta bacia observa-se uma elevada variação dos parâmetros de qualidade da água (Figura 5.24) nomeadamente dos SST e da concentração de nitrato, com o aumento também acentuado de caudal (Figura 5.23).

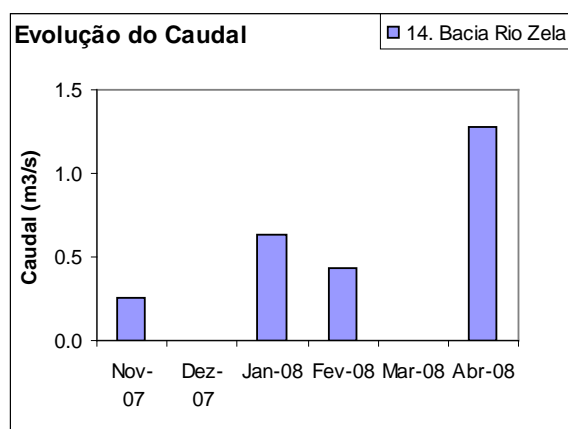


Figura 5.23 – Evolução do caudal na bacia do rio Zela

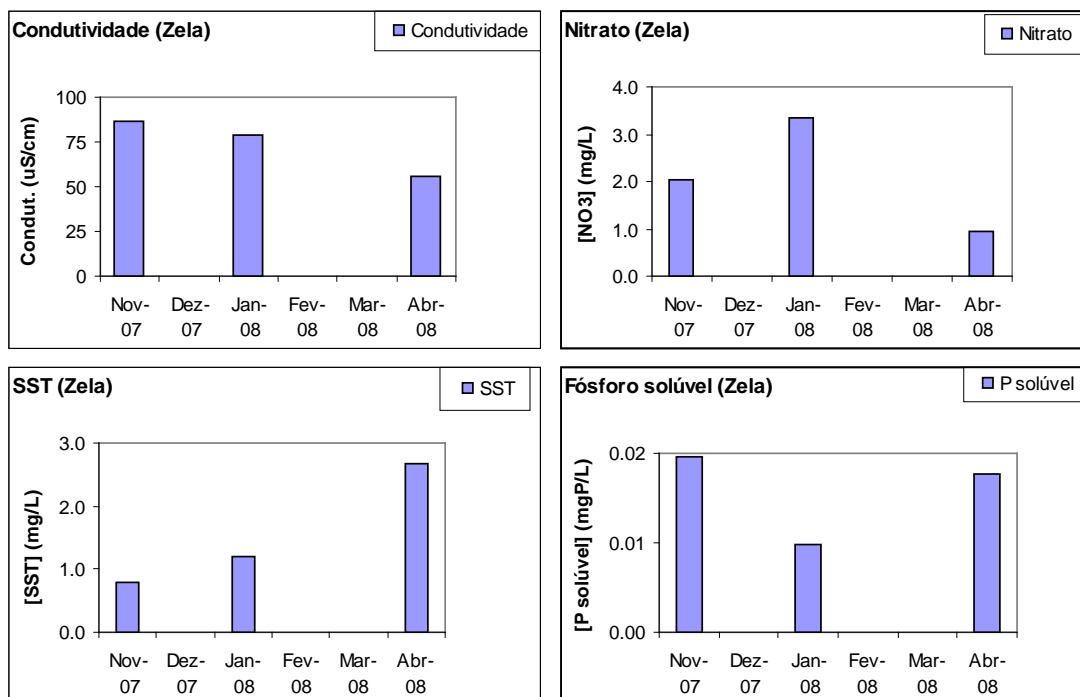


Figura 5.24 – Resultados de qualidade da água na bacia do rio Zela

5.3.4 Bacia em que predominam áreas urbanas

5.3.4.1 Bacia da ribeira de Pessegueiro

O caudal máximo registado na ribeira de Pessegueiro foi 0,1 m³/s em Abril. A condutividade máxima ocorreu em Novembro. O máximo de SST foi registado em Abril, observando-se um grande aumento de Novembro para Abril. As concentrações de nitrato e de fósforo solúvel são máximas em Janeiro e decrescem em Abril. A variação da concentração dos parâmetros de qualidade da água, bem como a variação do caudal encontram-se na Figura 5.26 e na Figura 5.25 respectivamente.

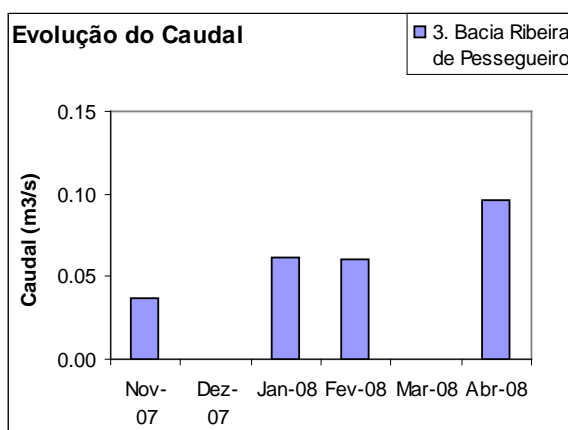


Figura 5.25 – Evolução do caudal na bacia da ribeira de Pessegueiro

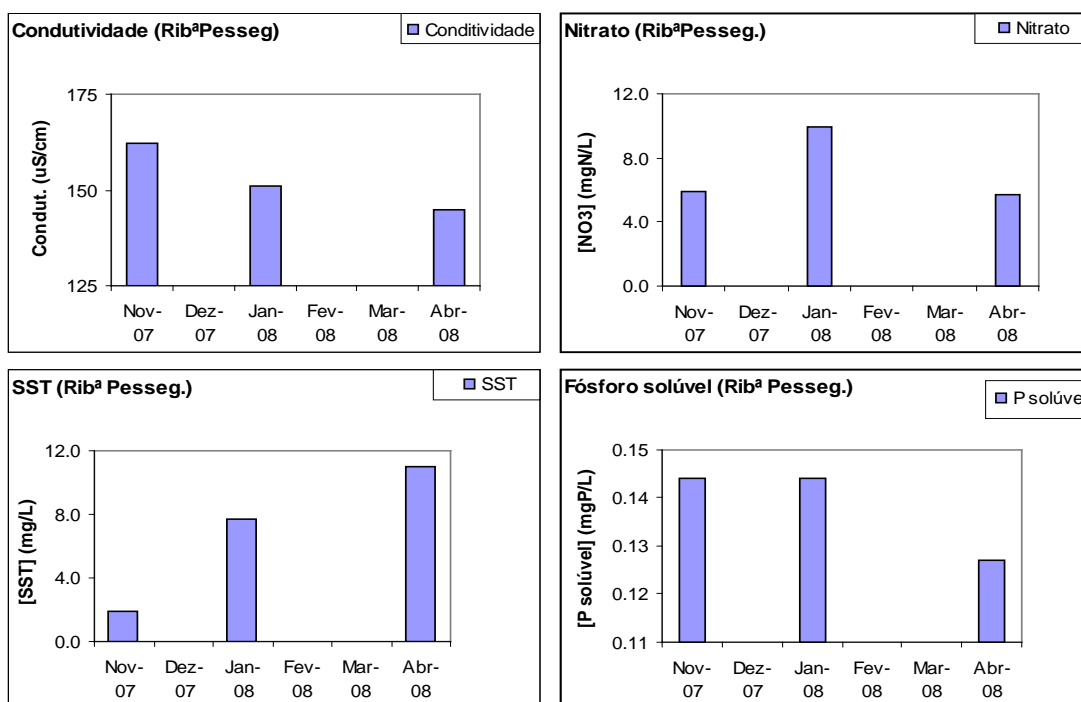


Figura 5.26 – Resultados de qualidade da água na bacia da ribeira de Pessegueiro

5.3.5 Rio Vouga

No rio Vouga o caudal atinge o seu máximo de 14 m³/s em Abril. Os valores máximos dos parâmetros de qualidade da água são todos observados no mês de Novembro, numa situação de baixo caudal. Em Janeiro observam-se os valores mais baixos de concentração de SST e de fósforo solúvel. No rio Vouga, a variações dos parâmetros de qualidade da água (Figura 5.28) é elevada, assim como a variação do caudal (Figura 5.27).

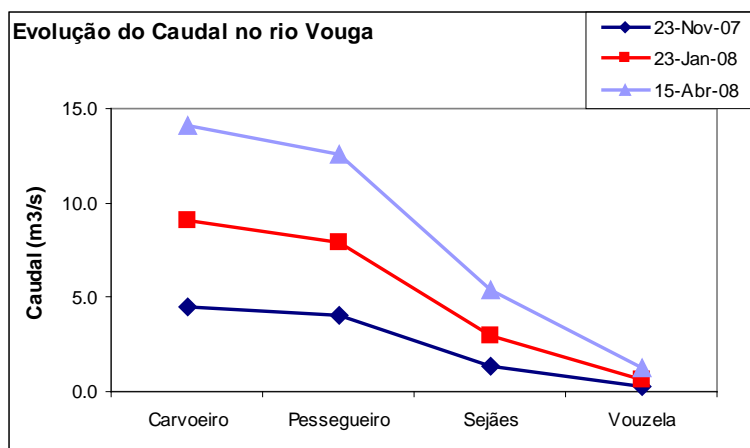


Figura 5.27 – Evolução do caudal ao longo do Médio Vouga

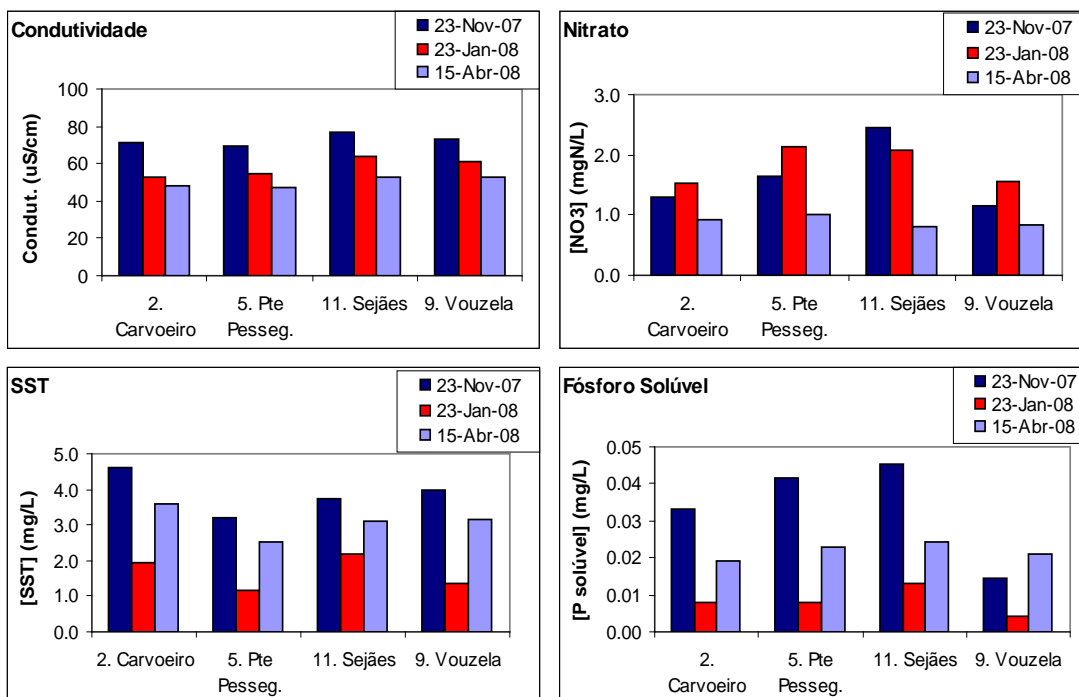


Figura 5.28 – Resultados de qualidade da água, nos pontos de amostragem ao longo do Médio Vouga

6 Qualidade da Água e relação com o caudal

A qualidade da água é uma forte condicionante da aptidão da água para os vários usos, nomeadamente o recreio, a pesca e o abastecimento de água. [46] No caso da presente dissertação o objectivo é identificar os factores condicionantes de qualidade da água para produção de água para consumo humano, no SRC.

A temperatura da água é um parâmetro que apesar de não ser químico, é de vital importância para a vida aquática. Além disso, é também muito importante dada a sua influência nas reacções químicas e velocidades de reacção, e na aptidão da água para determinado uso. [47] A temperatura apresentou um intervalo de valores entre 8,5 °C e 14,4 °C; as variações encontradas em cada campanha foram influenciadas pela hora de medição, o que explica que o valor mais baixo tenha sido observado na Ponte de Sejães e os valores mais elevados ao longo das datas analisadas foram observados na Ribeira de Pessegueiro. No geral, as temperaturas mais baixas registaram-se na saída de campo do dia 23 de Novembro de 2007 e as temperaturas mais altas registadas no dia 15 e 16 de Abril de 2008. A diferença de temperaturas observadas está relacionada principalmente com a época do ano.

A condutividade eléctrica revelou uma grande variação ao longo da bacia, apresentando os menores valores no rio Teixeira e na ribeira da Landeira, na ordem dos 22 – 33 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ e os maiores valores foram observados sempre na ribeira de Pessegueiro apresentando valores que atingem os 162 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Na ribeira da Salgueira e na ribeira da Ponte de Aiza, também são observados valores elevados de condutividade eléctrica. Estes três pontos correspondem a áreas urbanas / áreas agrícolas, logo estes valores mais elevados podem estar relacionados com a maior influência de efluentes agrícolas / pecuários e/ou domésticos, onde se concentram as agro-indústrias e os agregados populacionais. Pelo contrário, onde predomina a área florestal, no rio Teixeira e na ribeira da Landeira, onde os declives são mais acentuados, são observados os menores valores de condutividade eléctrica uma vez que também estão menos sujeitos à influência antrópica, por isso contém uma menor concentração de sais em solução nestas águas. Relacionando os valores de condutividade medidos com o caudal do rio nas datas em que foram efectuadas amostragens, verifica-se uma diminuição deste parâmetro com o aumento do caudal, que pode ser justificada pela dissolução dos sais presentes na água do rio pela água da chuva.

O teor de oxigénio dissolvido de uma água varia consoante a sua origem e as influências que sofrem ao longo do seu percurso. Os valores de oxigénio obtidos neste estudo indicam que as águas superficiais amostradas se apresentam, em geral, bem oxigenadas, atingindo quase em todos os casos a saturação. Os valores de oxigénio dissolvido variam entre 7,9 mg O₂/L (75% de saturação) na Ponte do rio Varoso e os 11,5 mg O₂/L (100% de saturação) na Ponte de Pessegueiro, na Ponte de Sejães e na Ponte de Vouzela, os três pontos situados no rio Vouga. O valor de OD na Ponte do rio Varoso pode ser justificado pela descarga de efluentes de matadouros de aves situados a montante que, pela sua carga orgânica significativa provocam consumo de oxigénio na água, num troço do rio em que a corrente é reduzida pelo efeito da barragem da Mini hídrica situada próximo do local de amostragem.

No que diz respeito à carência bioquímica de oxigénio, esta é mais significativa na ribeira de Pessegueiro (ponto 4). No entanto, são valores baixos que não atingem os 2,0 mg O₂/L. Este ponto de amostragem está inserido numa área urbana, logo a concentração de CBO₅ reflecte uma carga orgânica mais elevada associada à descarga de um efluente urbano proveniente da ETAR de Sever do Vouga.

O azoto é um dos nutrientes, que juntamente com o fósforo, podem causar a eutrofização da água de rios e ribeiras, em consequência da sua excessiva acumulação no meio aquático, traduzindo-se no crescimento acelerado de algas que perturbam o equilíbrio biológico e a qualidade das águas [35]. A espécie azotada claramente maioritária é o nitrato. Segue-se a amónia e o azoto orgânico. Em geral, os maiores valores de nitrato foram observados nos pontos de amostragem correspondentes a áreas urbanas / agrícolas, nomeadamente na ribeira de Pessegueiro, na ribeira da Salgueira, no rio Varoso, na ribeira da Ponte de Aiza, no rio Zela e na ponte de Sejães (rio Vouga). A concentração de amónia é maior em amostras de água recolhidas em zonas expostas a descargas directas de águas residuais domésticas e pecuárias como a ribeira de Pessegueiro que recebe o efluente tratado da ETAR de biodiscos de Sever do Vouga, e a ponte do rio Varoso que recebe o efluente tratado da ETAR do matadouro de aves. De salientar que na bacia do rio Varoso existe uma produção diária de azoto de origem animal bastante significativa (685 kgN/dia), e muito deste azoto atinge os cursos de água por infiltrações no terreno, contribuindo para um aumento da concentração de azoto no rio. Na ponte de Sejães os valores de amónia também são bastante significativos, devido à descarga no rio Vouga da ETAR Municipal de Oliveira de Frades. Os elevados valores de nitrato observados em áreas agrícolas devem-se a processos de contaminação difusa decorrentes da aplicação de fertilizantes azotados nos terrenos agrícolas envolventes

bem como das áreas urbanas sem rede de saneamento. Os valores máximos de nitrato e amónia foram observados na ribeira de Pessegueiro, atingindo os valores de 9.92 mgN/L (no dia 23 de Janeiro de 2008) e 0.463 mgN/L (no dia 15 de Abril de 2008) respectivamente. No que diz respeito ao nitrato, verificou-se um aumento bastante significativo em Janeiro de 2008 devido possivelmente à contribuição da poluição difusa que pode conter concentrações de nitrato apreciáveis. Com a continuação da precipitação nos meses seguintes e conseqüente aumento do caudal no rio, observou-se uma diminuição gradual da concentração de nitrato devido ao efeito de lavagem pela precipitação da carga que estava acumulada na bacia.

O fósforo, tal como o azoto, pode causar a eutrofização da água dos rios, pela excessiva acumulação no meio aquático, provocada pela descarga de esgotos domésticos e efluentes industriais. Os valores mais elevados deste composto verificaram-se na ribeira de Pessegueiro. No que diz respeito ao fósforo solúvel este foi máximo nos dias 23 de Novembro de 2007 e no dia 23 de Janeiro de 2008, apresentando o mesmo valor de 0,144 mg/L. O fósforo total atingiu o valor máximo de 0,623 no dia 23 de Novembro de 2007. Na ribeira da Salgueira, na ribeira da Ponte de Aiza e na Ponte de Sejães (rio Vouga), ou seja, nas áreas urbanas / agrícolas, os valores de fósforo solúvel e de fósforo total são mais elevados que os dos restantes pontos de amostragem. Em certos locais, a concentração de fósforo solúvel foi inferior ao limite de detecção do método utilizado na sua determinação (0,01 mgP/L). Os locais onde isto se verificou foi na ribeira da Alombada, no rio Mau, no rio Teixeira e na ribeira da Landeira (bacia do rio Varoso).

A resposta biológica à concentração de nutrientes no meio, pode ser expressa em termos da concentração de clorofila a, uma vez que reflecte a quantidade de algas fitoplantónicas numa massa de água. Os valores mais elevados de clorofila a foram observados maioritariamente na ponte do rio Varoso. No dia 25 de Fevereiro a concentração de clorofila a atingiu o valor de 4,6 mg/m³ neste ponto. Na ponte de Sejães (rio Vouga), na Ribeira da ponte de Aiza e no rio Zela, os valores de clorofila a são mais elevados do que nos restantes pontos, o que era de esperar uma vez que são áreas urbanas / agrícolas com significativa concentração de nutrientes como azoto e fósforo, como foi explicado anteriormente.

A ficocianina é o pigmento azul produzido por cianobactérias que, tal como a clorofila a, é uma resposta biológica à concentração de nutrientes no meio. Os valores mais elevados são observados no troço do rio Vouga (Carvoeiro, Ponte de Pessegueiro, Ponte de Sejães e Ponte de Vouzela) e também no rio Mau, no rio Varoso, no rio Zela e na ribeira

da ponte de Aiza devido à elevada disponibilidade de nutrientes no rio proveniente das fontes de poluição difusa do uso de fertilizantes na agricultura.

A concentração de sólidos suspensos totais está relacionada com a turbidez que uma água apresenta. A turbidez é a propriedade física da água que se deve à presença de sólidos suspensos visíveis que impedem ou dificultam a passagem de luz. Pode reduzir a acção dos agentes desinfectantes, como o cloro por exemplo, uma vez que acaba protegendo certos microorganismos da acção destes agentes. Na ribeira de Pessegueiro foi onde foram observados os maiores valores de SST (11,0 mg/L) e de turbidez (3,58 NTU). No troço do rio Vouga, nomeadamente no Carvoeiro, na ponte de Sejães e na ponte de Vouzela, em geral foram observados elevados valores de SST e turbidez. Na ponte da Salgueira foram registados valores também significativos de SST (3,76 mg/L). Verifica-se um aumento da concentração de SST e da turbidez com o aumento do caudal do rio que pode ser explicado pela erosão dos solos devida ao aumento da velocidade de escoamento.

A última saída de campo, do dia 22 e 23 de Julho de 2008, com o objectivo de identificar fontes de poluição, permitiu verificar como determinadas descargas podem de facto, prejudicar a qualidade da água do rio Vouga.

No que diz respeito à qualidade da água do rio à entrada da área de estudo, na Ponte Nova de São Pedro do Sul, verificou-se que esta era aceitável, com valores baixos de condutividade (50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), praticamente ausência de turbidez e também valores muito baixos de clorofila a e ficocianina, que reflectem a baixa concentração de nutrientes na água, nomeadamente compostos azotados e fósforo. No ponto G2, foi identificada a descarga do efluente proveniente da ETAR de Valgode, aparentemente com baixo nível ou mesmo ausência de tratamento, que descarregava no rio Vouga, depois da confluência deste com o rio Zela. Constatou-se que esta descarga afectou a qualidade do rio Vouga, uma vez que fez disparar os valores de CBO_5 (7 mg O_2/L) devido à carga orgânica que apresentava; a turbidez também foi elevada (25 NTU) e o valor de clorofila a atingiu o valor de 10 mg/m³, que está relacionada com a presença de nutrientes de origem urbana. O ponto H3, na ribeira de Oliveira de Frades, depois da descarga do efluente da ETAR Municipal de Oliveira de Frades foi o ponto mais crítico no que diz respeito aos valores de condutividade (713 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e de turbidez (18 NTU). Apresentou também um valor de oxigénio dissolvido muito baixo e elevado valor de CBO_5 (5 mg O_2/L), o que reflecte a carga orgânica elevada. O aspecto da água neste local era típico de esgoto e apresentava muita espuma. No que diz respeito aos pontos I4 e J5,

respectivamente a montante e a jusante da descarga do efluente da ETAR de Pinheiro de Lafões no rio Vouga, observou-se que em ambos os pontos, os parâmetros de qualidade da água medidos não diferiram. Apenas se verificou um aumento da clorofila a depois da descarga, de 10 mg/m^3 (antes de descarga) para o dobro (depois da descarga), o que evidencia o aumento de concentração de nutrientes no rio Vouga, que provoca a eutrofização do rio. Aparentemente o efluente descarregado no rio tinha recebido tratamento eficaz atendendo ao seu aspecto límpido e com pouca espuma. Por último, no ponto L6, na ponte de Antim (rio Varoso), que recebe efluentes de ETAR's de Matadouros de aves, a água encontrava-se muito suja, coberta de espuma gordurosa numa grande extensão e estagnada. Da análise dos parâmetros da qualidade da água, confirmou-se os elevados valores de turbidez (9 NTU) e de clorofila a (30 mg/m^3) e de ficocianina ($1,1 \text{ } \mu\text{g/L}$), reflectindo uma concentração de nutrientes e carga orgânica muito elevadas, que provoca a degradação da qualidade da água no rio Varoso.

Da análise da evolução temporal dos resultados de qualidade da água com a evolução dos caudais simulados no SWMM5 nas principais sub-bacias do Médio Vouga, representada no ponto 5.3, salientam-se alguns aspectos. Na ribeira da Alombada, nos meses de Fevereiro e Abril, no ponto 1A observou-se que a concentração de nitrato foi maior do que no ponto 1. A diminuição da concentração de nitrato, de montante para jusante pode estar associada à diluição desta pela precipitação, ao longo do troço da ribeira da Alombada. Em sub-bacias florestais como são a ribeira da Alombada e o rio Teixeira, um aumento acentuado de caudal do rio, faz diminuir a condutividade, aumentar os SST devido à erosão dos solos e diminuir a concentração de nitrato devido à diluição proporcionada pela precipitação. Com o aumento de caudal em Abril, na bacia do rio Mau e do rio Varoso, ambas bacias mistas de Floresta e Agrícola, observou-se uma diminuição do nitrato, provocada pela diluição da água da chuva. Na área florestal da bacia do rio Varoso, correspondente à ribeira da Landeira, verificou-se um valor mais baixo de nitrato, do que no troço principal deste, que é sujeito a descargas de matadouros de aves. No que diz respeito à concentração de fósforo solúvel, esta foi superior nas áreas florestais (Minas do Braçal e Ribeira da Landeira) das referidas sub-bacias, e inferior nas áreas agrícolas sujeitas à poluição difusa. Esta diminuição associada ao aumento de sólidos suspensos pode ser explicada pelo consumo do fitoplâncton. Na ribeira da ponte de Aiza, bacia predominantemente agrícola, foram observados valores elevados de nitrato e fósforo em Janeiro. Com o aumento de caudal em Abril, constatou-se a diminuição do nitrato e do fósforo solúvel e o aumento dos sólidos suspensos, o que mais uma vez aponta para o consumo do fitoplâncton. No que

diz respeito à diminuição do nitrato esta deveu-se também ao efeito de lavagem pela precipitação da carga que estava acumulada na bacia. Na bacia da ribeira de Pessegueiro, o fenómeno verificado é similar com o ocorrido na bacia da ribeira da ponte de Aiza.

Numa visão geral da situação do rio Vouga, efectuou-se uma análise dos resultados da qualidade da água, ao longo das três datas de amostragem, nos quatro pontos do rio Vouga observados (Carvoeiro, Ponte de Pessegueiro, Ponte de Sejães e Ponte de Vouzela) com o objectivo de avaliar a evolução da qualidade da água do rio Vouga, em relação com a variação de caudal tendo em conta os caudais simulados com o SWMM5. No que diz respeito ao parâmetro da condutividade, este apresenta pequenas variações ao longo dos pontos do rio Vouga. É ligeiramente mais elevado na ponte de Sejães (77 $\mu\text{S}/\text{cm}$) devido a este se situar a jusante das descargas das ETAR's de Valgode e de Oliveira de Frades. Verifica-se uma diminuição significativa da condutividade com o aumento do caudal, apresentando o valor mínimo de 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na ponte de Pessegueiro, no dia 15 de Abril de 2008, o que reflecte a contribuição do rio Teixeira, que fornece água de baixa condutividade. O nitrato é máximo no dia 23 de Novembro de 2007, na ponte de Sejães, devido ao caudal ser baixo e este ponto receber as cargas de São Pedro do Sul, Vouzela e Oliveira de Frades que se situam a montante. Curioso é o facto de o valor mais baixo de nitrato observado ser também neste ponto, no dia 15 de Abril de 2008, numa situação de caudal mais elevado e de clorofila também elevada, logo a concentração de nitrato diminui em resultado da diluição e do consumo pelo fitoplâncton. De um modo geral a concentração de nitrato é baixa na ponte de Vouzela e aumenta na ponte de Sejães; depois com a contribuição do rio Teixeira (área florestal) para o rio Vouga a concentração diminui na Ponte de Pessegueiro, e diminui ainda mais ao chegar ao açude do Carvoeiro, sendo o valor médio de nitrato 1,25 mgN/L, não só devido à diluição fornecida pelos caudais dos rios Mau e Alombada, mas também ao consumo pelo fitoplâncton. No que diz respeito aos SST, observam-se os maiores valores junto ao açude do Carvoeiro, o que pode estar relacionado com o crescimento do fitoplâncton.

Em relação ao modelo SWMM5, verifica-se que este apresenta um ajuste razoável dos resultados da simulação com os resultados medidos para a bacia da ribeira da Alombada e do rio Mau, nos dias em que se realizou a medição do caudal.

Da análise comparativa da evolução dos parâmetros indicadores de qualidade da água nas principais sub-bacia do Médio Vouga com a evolução do caudal nas mesmas, realizada no ponto 5.3, foi possível observar que as sub-bacias em que a variação dos

parâmetros de qualidade da água foi maior, estas também apresentaram uma variação muito mais acentuada do caudal ao longo das datas analisadas. São exemplo deste facto as sub-bacias do rio Varoso e do rio Zela, em que se verificaram as maiores variações dos parâmetros de qualidade da água e variação de Caudal, ao longo das datas. Pelo contrário, na sub-bacia da ribeira da Salgueira observou-se uma evolução do caudal não muito acentuada, que coincidiu com a baixa variação dos parâmetros de qualidade da água.

Como já foi referido anteriormente, o modelo SWMM5, é bastante exigente no que se refere aos valores das variáveis de entrada. Além disso também se mostra bastante sensível a alguns deles, nomeadamente a cota da base do aquífero e a altura do mesmo em relação a cota média da superfície. Também é sensível aos parâmetros da água subterrânea, nomeadamente o valor do coeficiente relativo à descarga de água subterrânea nas linhas de água (A_1) e o nível limiar da água no aquífero (E). Em relação aos valores determinados a partir da cartografia, como a largura característica do fluxo devido ao escoamento superficial e a inclinação do terreno das bacias, verifica-se que estes parâmetros também fazem variar significativamente a resposta do modelo SWMM5.

Os hidrogramas das bacias da ribeira da Alombada e do rio Mau, apresentam uma boa resposta do escoamento relativo à precipitação, ou seja, quando há precipitação o caudal do rio aumenta devido ao escoamento directo e quando não existe precipitação o caudal do rio regressa rapidamente aos valores característicos de escoamento de base.

As bacias que contribuem com um caudal mais significativo para o rio Vouga são as bacias do rio Varoso, rio Teixeira e rio Mau. Verificou-se que o maior aumento do caudal do rio Vouga ocorre no troço entre a ponte de Sejães e a ponte de Pessegueiro.

O caudal junto ao açude do Carvoeiro, para as datas de amostragem, resulta da soma das contribuições de caudal de todas as bacias e interbacias da área de estudo simuladas. Neste local, no dia 23 de Novembro de 2008, a diferença entre o caudal medido de $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ e o caudal obtido da soma dos caudais de todas as bacias e interbacias, de $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, deve-se ao facto da nascente do rio Vouga se situar a montante da área de estudo. Deste modo, esta diferença de caudais corresponde à contribuição dos afluentes do rio Vouga na área do Alto Vouga.

7 Considerações finais e conclusões

À semelhança de estudos realizados anteriormente no rio Vouga, verificou-se que a qualidade da água junto ao Carvoeiro é melhor quando comparada quer na ponte de Sejães quer na ponte de Pessegueiro. No que diz respeito à qualidade em Vouzela, esta é similar com o Carvoeiro, no entanto, o ponto de amostragem em Vouzela situa-se a montante da descarga da ETAR de Valgode, uma das principais cargas pontuais descarregadas no rio Vouga que irá alterar a sua qualidade. Além desta fonte pontual, foram identificadas as descargas da ETAR de Oliveira de Frades e da ETAR de Sever do Vouga que contribuem para a degradação do rio Vouga. No que diz respeito às fontes de poluição difusa, estas são originárias principalmente das bacias da ribeira da Salgueira, do Varoso, da ribeira da ponte de Aiza e do rio Zela. A identificação destas fontes foi importante para estudar a variação dos parâmetros indicadores de qualidade da água com os fenómenos de precipitação ocorridos ao longo das datas analisadas. Observou-se uma melhoria em praticamente todos os parâmetros, com o aumento do caudal do rio, desde o início das amostragens em Novembro de 2007 até Abril de 2008, devido essencialmente ao efeito de lavagem pela precipitação. De um modo geral, verificou-se em Abril de 2008 uma diminuição das concentrações de nitrato e fósforo e o aumento dos sólidos suspensos, que pode ser justificado pelo crescimento de fitoplâncton nesta altura do ano. A condutividade também diminuiu com o aumento de caudal devido à dissolução dos sais presentes na água do rio pela água da chuva.

No troço do rio Vouga, os resultados mostram que em quase todos os parâmetros ocorre um aumento da concentração em Sejães (SST – 4 mg/L; N total – 2,5 mgN/L; P total – 0,364 mg/L; ficocianina – 0,8 µg/L), no mês do Novembro. Neste local observam-se estes valores devido a este receber as cargas dos concelhos de São Pedro do Sul, Vouzela e oliveira de Frades o que resulta numa degradação da qualidade da água. No entanto, entre Sejães e a ponte de Pessegueiro verifica-se uma melhoria na qualidade da água, devido principalmente à contribuição do caudal do rio Teixeira que provoca uma diluição dos nutrientes. Depois da ponte de Pessegueiro, o rio Vouga recebe a ribeira de Pessegueiro que apresenta parâmetros de carga (condutividade, CBO₅, SSV, azoto e fósforo totais) muito elevados devido à descarga das águas residuais da ETAR de Sever do Vouga. No entanto, devido à contribuição dos caudais do rio Mau e da ribeira da Alombada que provoca uma diluição das cargas, verifica-se um aumento significativo da

qualidade da água junto ao açude do Carvoeiro, em comparação com os pontos a montante. O parâmetro mais crítico junto ao açude do Carvoeiro, considerando os requisitos de qualidade da água para abastecimento público, foi a concentração de SST, à semelhança do que se verificou em trabalhos anteriores. [16]

Neste trabalho deveria ter sido realizada uma saída de campo nos meses de Verão para cobrir quase na totalidade o ano hidrológico 2007/2008, no entanto tal não foi possível.

No que diz respeito à simulação de caudais pelo SWMM5, esta permitiu relacionar o caudal com os parâmetros de qualidade da água de uma forma satisfatória. No entanto, em estudos posteriores, é de extrema importância ultrapassar alguns obstáculos que surgiram. No que diz respeito ao cálculo da percentagem de área impermeável, esta deveria ser feita para todas as bacias do Médio Vouga, assim como a contabilização do número de habitantes, para fazer uma caracterização o mais completa possível da área de estudo. Para o transporte de caudais seria necessário obter as medidas exactas para a secção transversal em cada ponto de descarga. Deveria ter sido feita a calibração do modelo, fazendo a medição de caudais em todas as bacias estudadas para períodos os mais curtos possíveis (mensal), o que não aconteceu. Em trabalhos futuros, o recurso à ferramenta ArcGis deverá ser mais aplicada em vez de trabalhar sobre mapas, uma vez que a informação fica disponível para trabalhos futuros, de uma forma mais prática. O SWMM5 permite a simulação não só da quantidade de escoamento, mas também da qualidade. Na presente dissertação, tal potencialidade não foi aproveitada.

Bibliografia

- [1] Carta Europeia da Água, em: <http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/pdf/OciclodaAgua.pdf>
- [2] BAUD, P., BOURGEAT, S. & BRÁS, C. (1999). *Dicionário de Geografia*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- [3] ALHO, M. (2006). Recursos Hídricos: A água. *Floresta e Ambiente*, 73, 31
- [4] BUTT, A. J. & BROWN, B. L. (2000) The Cost of nutrient reduction: a case study of Chesapeake Bay. *Coastal Management* 28 (2), 175-185
- [5] Despacho n.º 2339/2007, PEAASAR 2007-2013. In: Diário da República, 2ª série – n.º 32 – 14 de Fevereiro de 2007. Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 2007
- [6] Decreto-lei N.º 58/2005 de 29 de Dezembro. Diário da República nº - I Série-A. Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa.
- [7] Directiva n.º 200/60/CE de 23 de Outubro. (2000). *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L327. Parlamento Europeu e do Concelho, Portugal.
- [8] Decreto-lei N.º 236/1998 de 1 de Agosto. Diário da República n.º 176/98 – I Série-A. Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa.
- [9] Decreto-lei N.º 152/1997 de 19 de Junho. Diário da República n.º 176/98 – I Série-A. Imprensa Nacional Casa da moeda. Lisboa.
- [10] PNBEPH – Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico, <http://www.portugal.gov.pt> , consultado em 28 de Outubro de 2008.
- [11] TEIXEIRA, da Costa e LANÇA, Rui (2001); *Capítulo 1 – Hidrologia de Superfície*; Área Departamental de Engenharia Civil; Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve.
- [12] NÉRY, F., SOUSA, R., MATOS, J. (2002) Hidro 25m – *Desenvolvimento de um Sistema de Referência por Identificadores Geográficos: Uma aplicação às Bacias Hidrográficas de Portugal Continental*.
- [13] TSIHRINTZIS, V. A. and HAMID, R. (1998) Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. *Hydrological Processes*, Vol. 12, 311-329 (1998).
- [14] EPA – U. S. Environmental Protection Agency, Better Assessment Science Integrating Point & Nonpoint Sources: <http://www.epa.gov/waterscience/basins>, consultado em 3 de Junho de 2008

- [15] TONG, Susanna T. Y. and CHEN, Wenli (2002) *Modeling the relationship between land use and surface water quality*, Journal Environmental Management (2002) 66, 377-393.
- [16] SILVA, J.F. & OLIVEIRA, F. (2005) The eutrophication in the river Vouga basin – impacts on the quality of water for public supply, in *The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimarães, Portugal, July 11-14, 2005*
- [17] OLIVEIRA, F., SILVA, J.F., OLIVEIRA, P.F., OLIVEIRA, M.F. (2005) Indicadores de Qualidade da água fornecida pelo Sistema Regional do Carvoeiro a partir das captações no rio Vouga.
- [18] FIGUEIREDO DA SILVA, J., RIOS, P., APARÍCIO, R., PINHEIRO, M., OLIVEIRA, Fausto (2006) “A captação de água no rio Vouga e o controlo do processo de Eutrofização”, 8º Congresso da Água, Figueira da Foz, Março de 2006
- [19] FAUSTO, M. M. de Oliveira, Sistema Regional do Carvoeiro – O Arranque
- [20] Consórcio AMBIO/ CHIRON/ AGRI.PRO/ DRENA/ vHLC/FBO. (2002). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, 1ª Fase – Análise e Diagnóstico de Referência. Volume I. Sumário Executivo*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Direção Regional do Ambiente do Centro.
- [21] Consórcio AMBIO/ CHIRON/ AGRI.PRO/ DRENA/ vHLC/FBO. (2002). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, 1ª Fase – Análise e Diagnóstico de Referência. Anexo I. Análise Biofísica (Revisão 1)*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Direção Regional do Ambiente do Centro.
- [22] Consórcio AMBIO/ CHIRON/ AGRI.PRO/ DRENA/ vHLC/FBO. (2002). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, Anexo Cartográfico*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Direção Regional do Ambiente do Centro.
- [23] ALMEIDA, C., MENDONÇA, J.J.L., SILVA, M.A.M e A. Serra (1999). “*Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego, Vouga e Lis*”
- [24] RIBEIRO, O. (1998). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico* (7.ª ed.). Lisboa: Livraria Sá da Costa.
- [25] Plano da Bacia Hidrográfica dos Rios Luso-Espanhóis (1998)
- [26] LENCASTRE, A. E FRANCO, F. M.; Maio de 2003; *Lições de Hidrologia*; 3ª edição; Gráfica de Coimbra, Lda.
- [27] IA – Instituto do Ambiente, Agência Portuguesa do Ambiente, Atlas do Ambiente, Solos: <http://www.iambiente.pt/atlas/>, consultado em 25 de Abril de 2008
- [28] Consórcio AMBIO/ CHIRON/ AGRI.PRO/ DRENA/ vHLC/FBO. (2002). *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga, 1ª Fase - Análise e Diagnóstico de Referência. Anexo 5*.
-

Análise da ocupação do solo e Ordenamento do Território. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Direção Regional do Ambiente do Centro.

- [29] CMSPS – Câmara Municipal de de São Pedro do Sul: <http://www.cm-spsul/apresentacao.asp>, consultado em 15 de Outubro de 2008.
- [30] CMV – Câmara Municipal de Vouzela: <http://cm-vouzela.pt/portal/>, consultado em 15 de Outubro de 2008.
- [31] CMOF – Câmara Municipal de Oliveira de Frades: <http://www.cm-ofrades.com>, consultado em 15 de Outubro de 2008.
- [32] CMSV – Câmara Municipal de Sever do Vouga: <http://cm-sever.pt>. Consultado em 15 de Outubro de 2008.
- [33] IDAD – Instituto do Ambiente e Desenvolvimento, Diagnóstico Ambiental, *Diagnóstico Sever do Vouga*: <http://amria.pt/ambiria/>, consultado em 29 de Março de 2008
- [34] INE- Instituto Nacional de Estatística.
- [35] INSAAR – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento e Água Residuais - <http://insaar.inag.pt/index2-noflash.htm>, consultado em 12 de Junho de 2008.
- [36] IGEOE – Instituto Geográfico do Exército:
<http://www.igeoe.pt/utilitarios/coordenadas/trans.asppx>, consultado em 30 de Julho de 2008.
- [37] AKAN, A. O. and HOUGHTALEN, R. J. (2003). *Urban Hydrology, Hydraulics, And Stormwater Quality*. John Wiley and Sons, Hoboken, N.J.
- [38] ROSSMAN, Lewis A.; Revised October 2005; *Storm Water Management Model User's Manual, Version 5.0*; EPA/600/R-05/040; Environmental Protection Agency.
- [39] HEM, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water* (3.^a ed.). U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. Alexandria: U.S. Geological Survey.
- [40] ALVES, Célia; 2005; *Tratamento de Águas de Abastecimento; Plubindústria*; Porto
- [41] INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. (2007). *Lista de Termos Hidrogeológicos*: http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_hidro/lista_termos.aspx, consultado em 23 de Setembro de 2008.
- [42] EEA – European Environment Agency. (1999). *Nutrients in european ecosystems. Environmental assessment report n.º 4*. Copenhagen: European Environment Agency.
- [43] SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos:

- http://snirh.pt/snirh.php?main_id=2&item=1&sbacia=bac_vouga&objrede=AGSUPQUANT, dados de precipitação retirados em Abril de 2008.
- [44] APHA (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Washington.
- [45] LETRA, A., RODRIGUES, N. (2007), *Avaliação do impacto das cargas poluentes sobre a qualidade da água do rio Vouga*, Relatório relativo ao projecto final de curso.
- [46] SPELLMAN, F. R. (1998) *The Science of Water: Concepts & Applications*. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
- [47] WALLING, D. E. & WEBB, B. W. (1992). 3: Waste Quality, I. Physical Characteristics. In P. Calow & G.E. Petts (ed.). *The Rivers Handbook*. Oxford: Blackwell Science, Vol I, pp. 48-72.
- [44] BOWMAN, B. T. (1999) Bioenergy / Manure Information Home:
<http://gis.lrs.ougeph.ca/AgriEnvArchives/bioenergy/facts.html>, consultado em 8 de Novembro de 2008.

ANEXOS

Anexo A – Caracterização das Bacias

Anexo A1 - Valores de % de impermeabilização das principais sub-bacias do Médio Vouga estudadas (dados obtidos dos Censos 2001 ao nível da localidade de cada freguesia, fornecidos pelo INE) [34]

A.1.1. Ribeira da Alombada

Sub-Bacia	Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1	Macinhata do Vouga	47	6 110	15 456	77 280	0.0834	7.084	1.18
2		0	0	4 046	20 230	0.0202	2.966	0.68
3	Paradela, Cedrim	123	15 990	16 243	81 215	0.0972	4.087	2.38
4	Cedrim	33	4 290	4 128	20 640	0.0249	2.755	0.90
5	Talhadas	17	2 210	17 670	88 350	0.0906	7.260	1.25

A.1.2. Rio Mau

Sub-Bacia	Freguesia	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1		0	0	869	4 345	0.0043	1.52	0.29
2		0	0	5 300	26 500	0.0265	2.14	1.24
3	Pessegueiro do Vouga	31	4 030	5 873	29 365	0.0330	3.99	0.84
4	Sever do Vouga	322	41 860	9 067	45 335	0.0872	1.40	6.24
5		0	0	3 749	18 745	0.0187	3.19	0.59
6	Sever do Vouga	2	260	7 359	36 795	0.0370	2.24	1.65
7	Silva Escura	112	14 560	11 895	59 475	0.0740	4.83	1.53
8	Silva Escura	694	90 220	45 904	229 520	0.3197	8.94	3.58
9	Dornelas	20	2 600	3 409	17 045	0.0196	2.56	0.77

A.1.3. Ribeira de Pessegueiro

Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
Pessegueiro do Vouga, Sever do Vouga	531	69 030	42 219	211 095	0.28	5.8	4.828

A.1.4. Ribeira da Salgueira

Sub-Bacia	Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1	Sever do Vouga, Rocas do Vouga	170	22 100	23 937	119 685	0.1418	4.86	2.917
2	Rocas do Vouga	146	18 980	30 842	154 210	0.173	6.75	2.6

A.1.5. Rio Arões

Sub-Bacia	Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1	Couto de Esteves, Arões	136	17 615	22 593	112 965	0.1306	6.820	1.91
2	Arões	190	24 700	30 239	151 195	0.1760	8.770	2.01
3	Junqueira	256	33 280	36 649	183 245	0.2170	9.380	2.31

A.1.6. Rio Teixeira

Sub-Bacia	Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1	São João da Serra, Ribeiradio, Arões	367	47 753	55 709	278 545	0.33	14.97	2.18
2	Arões	282	36 617	39 244	196 220	0.23	13.51	1.72

3	Arões, Manhouce	138	8 060	39 873	19 937	0.22	25.34	0.86
4		0	0	11 677	58 385		9.32	
5	Manhouce	155	20 150	22 962	114 810	0.14	9.78	1.38

A.1.7. Rio Varoso

Sub-Bacia	Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1	Valadares, São Cristovão de Lafões	105	13 650	12 959	64 795	0.078	4.79	1.64
2	São Cristovão de Lafões, Santa Cruz da Trapa, Manhouce	61	7 930	21 411	107 055	0.115	9.38	1.23
3	Santa Cruz da Trapa	51	6 630	22 261	111 305	0.118	10.88	1.08
4	Serrazes, Santa Cruz da Trapa, Carvalhais	748	97 240	65 726	328 630	0.426	23.13	1.84
5	Carvalhais, Bordinhos	534	69 420	34 708	173 540	0.24	14.96	1.62

A.1.8. Ribeira da Ponte de Aiza

Sub-Bacia	Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
1	Souto de Lafões	125	16 250	24 755	123 775	0.14	4.291	3.26
2	Paços de Vilharigues, São Vicente de Lafões	304	39 563	35 624	178 120	0.2180	6.762	3.22
3	Paços de Vilharigues, São Vicente de Lafões	211	27 387	27 195	135 975	0.1630	6.319	2.59

A.1.9. Rio Zela

Freguesias	N.º Edifícios	Área Edifícios (m ²)	Comprimento estradas (m)	Área Estradas (m ²)	Área Impermeável (km ²)	Área total (km ²)	% impermeabilização
Ventosa, Paços de Vilharigues, Vouzela	692	89 960	126 169	630 845	0.721	18.96	3.802

Anexo A2 – Caracterização das principais bacias no que diz respeito à produção diária de azoto de origem animal e percentagem de área agrícola

A.2.1. Composição do excremento animal e produção diária de componentes de resíduos. [44]

	Unidades	Vaca leiteira	Vaca para carne	Suíno	Galinha	Frango	Humanos
Peso médio	kg	590	295	52	1.6	0.7	63
Sólidos Totais	g	7 100	2 500	570	26	15	160
CBO5	g	940	470	160	5.3	n/a	50
N total	g	260	100	27	1.3	0.77	91
P total	g	55	27	94	0.48	0.21	1.8
Bacterias coliformes fecais	número	6.5*10 ¹²	1.8*10 ¹¹	2.3*10 ¹⁰	1.8*10 ⁹	n/a	2.3*10 ¹¹

n/a – informação não avaliada

A.2.2. Inventário do número de animais existente nas bacias mais importantes, sua área agrícola e respectiva percentagem na área total. Fonte: Censos de 2001 do INE [34].

Bacia	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Suínos	Galinhas	Área Agrícola (km ²)	Área total (km ²)	% Área Agrícola
1. Rib ^a . da Alombada	98	17	25	72	28 723	n/a	23.93	n/a
2. Rio Mau	383	48	86	256	61 350	3.64	30.8	11.82
3. Rib ^a . de Pessegueiro	50	22	46	69	47 224	n/a	5.8	n/a
4. Rib ^a . da Salgueira	286	42	30	1030	15 516	1.05	11.51	9.12
6. Rio Arões	838	378	320	473	4 806	5.43	24.89	21.82
7. Rio Teixeira	1 586	862	1 527	624	73 571	14.01	72.7	19.27

12. Rio Varoso	1 095	564	1 338	984	432 460	9.13	63.2	14.45
13. Rib ^a . Da Ponte de Aiza	671	125	208	576	99 399	5.019	19.1	26.28
14. Rio Zela	426	593	555	436	29 202	3.366	17.5	19.23

A.2.3. Cálculo da produção diária de azoto de origem animal, nas principais bacias

	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Suínos	Galinhas	
Produção diária (g N/animal)	165	24	24	27	1	Produção diária em cada bacia (kg N/dia)
1. Bacia Rib ^a da Alombada	16 170	408	600	1 944	28 723	47.8
2. Bacia Rio Mau	63 195	1 152	2 064	6 912	61 350	134.7
3. Bacia Rib ^a de Pessegueiro	8 250	528	1 104	1 863	47 224	59.0
4. Bacia Rib ^a da Salgueira	47 190	1 008	720	27 810	15 516	92.2
6. Bacia Rio Arões	138 270	9 072	7 680	12 771	4 806	172.6
7. Bacia Rio Teixeira	261 690	20 688	36 648	16 848	73 571	409.4
12. Bacia Rio Varoso	180 675	13 536	32 112	26 568	432 460	685.4
13. Bacia Rib ^a da Ponte de Aiza	110 715	3 000	4 992	15 552	99 399	233.7
14. Bacia Rio Zela	70 290	14 232	13 320	11 772	29 202	138.8

Anexo B – Resultados Hidroquímicos

Anexo B1 – Resultados de qualidade da água obtidos nas saídas de campo

B.1.1. Resultados obtidos na amostragem de 23 de Outubro de 2007, no rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rio Vouga			
		2. Carvoeiro	5. Ponte de Pessegueiro	9. Ponte de Vouzela	11. Ponte de Sejães
Oxigénio Dissolvido	mg/L	10.8	11.1	10.4	8.4
Temperatura	° C	9.5	9.2	8.7	8.5
Condutividade	µS/cm	71	69	73	77
Turbidez	NTU	2.9	1.6	1.7	2.1
Ficocianina	µg/L	0.8	0.6	0.6	0.8
CBO5	mg/L	1.9	2.1	2.3	<1
SST	mg/L	4.60	3.20	4.00	3.76
SSV	mg/L	1.40	0.72	1.57	1.12
Amónia	mgN/L	0.180	0.237	0.078	0.320
Nitratos	mgN/L	1.287	1.642	1.158	2.441
Azoto orgânico	mg/L	0.192	-	-	0.066
Azoto total	mg/L	1.658	1.672	1.158	2.827
Fósforo solúvel	mg/L	0.033	0.042	0.015	0.045
Fósforo Total	mg/L	0.224	0.280	0.175	0.364
Clorofila a	mg/m3	2.36	2.05	2.05	2.85

B.1.2. Resultados obtidos na amostragem de 23 de Outubro de 2007, nos afluentes do rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rios Afluentes						
		1. Ribeira da Alombada	3. Rio Mau	4. Ribeira de Pessegueiro	6. Ponte da Salgueira	7. Rio Teixeira	8. Ponte do rio Varoso	10. Rio Zela
Oxigénio Dissolvido	mg/L	11	10.9	10.4	11.1	11.2	7.9	11.2
Temperatura	° C	8.7	8.8	11.5	9.8	9.2	9.3	8.8
Condutividade	µS/cm	60	79	162	113	33	66	87
Turbidez	NTU	0.6	1.1	0.9	0.9	0.4	0.8	0.5
Ficocianina	µg/L	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
CBO5	mg/L	1.4	1.4	1.7	1.4	<1	<1	1
SST	mg/L	0.51	2.13	1.89	1.98	0.46	1.19	0.80
SSV	mg/L	0.11	0.60	0.63	0.79	0.46	0.69	0.35
Amónia	mgN/L	-	0.281	0.307	0.003	0.008	0.313	0.003
Nitratos	mgN/L	0.900	1.653	5.867	3.549	0.943	2.062	2.044
Azoto orgânico	mg/L	0.150	0.185	-	0.222	0.247	-	0.559
Azoto total	mg/L	1.036	2.118	5.499	3.774	1.199	2.227	2.605
Fósforo solúvel	mg/L	0.001	0.009	0.144	0.066	0.001	0.057	0.020
Fósforo Total	mg/L	-	0.054	0.623	0.298	0.042	0.321	0.151
Clorofila a	mg/m3	0.92	0.88	0.79	0.84	0.93	4.20	2.81

B.1.3. Resultados obtidos na amostragem de 23 de Janeiro de 2008, no rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rio Vouga			
		2. Carvoeiro	5. Ponte de Pessegueiro	9. Ponte de Vouzela	11. Ponte de Sejães
Oxigénio Dissolvido	mg/L	11.3	11.5	11.5	11.5
Temperatura	° C	9.4	9.8	8.6	9
Condutividade	µS/cm	53	55	61	64
Turbidez	NTU	0.5	0.3	0.9	0.9
Ficocianina	µg/L	0.51	0.36	0.66	0.55
CBO5	mg/L	<1	<1	<1	<1
SST	mg/L	1.92	1.14	1.35	2.17
SSV	mg/L	1.28	0.80	0.75	1.43
Amónia	mgN/L	0.026	0.015	0.051	0.163
Nitratos	mgN/L	1.532	2.131	1.572	2.082
Azoto Pariculado	mg/L	0.009	0.031	0.010	0.032
Azoto total	mg/L	1.567	2.178	1.633	2.277
Fósforo solúvel	mg/L	0.008	0.008	0.004	0.013
Fósforo particulado	mg/L	0.011	0.008	0.006	0.003
Fósforo Total	mg/L	0.019	0.016	0.011	0.017
Clorofila a	mg/m3	0.61	0.48	0.84	0.94

B.1.4. Resultados obtidos na amostragem de 23 de Janeiro de 2008, nos afluentes do rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rios Afluentes								
		1. Ribeira da Alombada	3. Rio Mau	4. Ribeira de Pessegueiro	6. Ponte da Salgueira	7. Rio Teixeira	8. Ponte do rio Varoso	10. Rio Zela	12. Ribeira da Landeira	13. Ribeira da Ponte de Aiza
Oxigénio Dissolvido	mg/L	11.1	11.1	10.1	10.9	11	10.9	11.1	10.7	10.6
Temperatura	° C	9.6	9.7	12.8	11.5	10.4	10	9.6	10.6	10
Condutividade	µS/cm	44	69	151	94	29	46	79	24	104
Turbidez	NTU	0.5	0.7	2.2	0.6	0.3	0.5	0.6	0.2	0.6
Ficocianina	µg/L	0.5	0.47	0.4	0.37	0.39	0.54	0.62	0.38	0.59
CBO5	mg/L	<1	<1	1.2	<1	<1	<1	<1	<1	<1
SST	mg/L	1.29	1.53	7.70	2.47	0.50	1.20	1.20	0.13	1.02
SSV	mg/L	0.84	1.00	2.70	1.60	0.60	0.90	0.60	0.36	0.76
Amónia	mgN/L	0.001	0.010	0.136	0.002	0.002	0.100	0.019	-	0.015
Nitratos	mgN/L	1.142	2.051	9.921	5.627	1.072	1.821	3.359	0.623	5.527
Azoto particulado	mg/L			0.046			0.027			0.025
Azoto total	mg/L	1.143	2.061	10.103	5.629	1.074	1.949	3.379	0.621	5.567
Fósforo solúvel	mg/L	-	0.003	0.144	0.059	-	0.019	0.010	-	0.114
Fósforo particulado	mg/L	0.004	0.005	0.006	0.009	0.003	0.009	0.005	0.001	0.010
Fósforo Total	mg/L	0.004	0.008	0.150	0.068	0.003	0.027	0.014	0.001	0.124
Clorofila a	mg/m3	0.43	0.44	0.50	0.52	0.38	0.75	0.89	0.44	1.21

B.1.5. Resultados obtidos na amostragem de 25 de Fevereiro 2008, nos afluentes do rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rios Afluentes					
		1. Ribeira da Alombada	1A. Ribeira da Alombada	3. Rio Mau	3A. Minas do Braçal	8. Ponte do rio Varoso	12. Ribeira da Landeira
Oxigénio Dissolvido	mg/L	10.6	10.2	10.5	10.2	10.2	10.2
Temperatura	° C	12.1	13.3	12.4	13	11.9	12.1
Condutividade	µS/cm	45	42	71	65	44	24
Turbidez	NTU	-	0.03	0.27	0.21	0.38	-
Ficocianina	µg/L	0.039	0.058	0.056	0.1	0.31	0.17
CBO5	mg/L	<1	<1	<1	<1	1.1	<1
SST	mg/L	1.03	0.85	1.60	2.47	3.40	0.90
SSV	mg/L	0.67	0.40	0.80	0.87	1.50	0.60
Amónia	mgN/L	-	-	0.019	0.03	0.007	-
Nitratos	mgN/L	0.880	1.020	1.640	1.610	0.810	0.310
Azoto Particulado	mg/L	0.015	0.027	0.017	0.019	0.047	0.020
Azoto total	mg/L	0.900	1.050	1.680	1.660	0.870	0.330
Fósforo solúvel	mg/L	0.006	0.006	0.016	0.009	0.037	0.004
Fósforo particulado	mg/L	0.001	0.002	0.035	0.004	0.010	0.001
Fósforo Total	mg/L	0.015	0.013	0.024	0.017	0.061	0.013
Clorofila a	mg/m3	2	2	2.2	2.5	4.6	2.6

B.1.6. Resultados obtidos na amostragem de 15 e 16 de Abril de 2008, no rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rio Vouga			
		2. Carvoeiro	5. Ponte de Pessegueiro	9. Ponte de Vouzela	11. Ponte de Sejães
Oxigénio Dissolvido	mg/L	10.6	10.3	10.4	10.2
Temperatura	° C	12.7	13.2	13.6	13.2
Condutividade	µS/cm	48	47	53	53
Turbidez	NTU	0.96	1.04	0.88	0.85
Ficocianina	µg/L	0.11	0.09	0.07	0.18
CBO5	mg/L	<1	<1	<1	<1
SST	mg/L	3.60	2.51	3.13	3.12
SSV	mg/L	1.76	1.20	1.73	1.36
Amónia	mgN/L	0.089	0.088	0.055	0.164
Nitratos	mgN/L	0.931	1.008	0.845	0.818
Azoto Particulado	mg/L	0.025	0.025	0.027	0.045
Azoto total	mg/L	1.045	1.121	0.928	1.027
Fósforo solúvel	mg/L	0.019	0.023	0.021	0.024
Fósforo particulado	mg/L	0.012	0.009	0.009	0.014
Fósforo Total	mg/L	0.031	0.032	0.030	0.038
Clorofila a	mg/m3	0.82	0.77	0.92	1.35

B.1.7. Resultados obtidos na amostragem de 15 e 16 de Abril de 2008, nos efluentes do rio Vouga

Parâmetro	Unidades	Rios Afluentes										
		1. Ribeira da Alombada	1A. Ribeira da Alombada	3. Rio Mau	3A. Minas do Braçal	4. Ribeira de Pessegueiro	6. Ponte da Salgueira	7. Rio Teixeira	8. Ponte do rio Varoso	10. Rio Zela	12. Ribeira da Landeira	13. Ribeira da Ponte de Aiza
Oxigénio Dissolvido	mg/L	10.9	10.26	10.6	10.44	10.05	10.43	10.14	10	9.7	9.9	9.9
Temperatura	°C	11.3	13.9	11.9	13.2	13.4	13.3	14	13.6	14.4	14	13.7
Condutividade	µS/cm	42	38	59	60	145	83	24	35	56	22	88
Turbidez	NTU	0.03	0.04	0.13	0.07	0.50	0.05	0.07	0.13	0.05	0.05	0.10
Ficocianina	µg/L	0.18	0.057	0.08	0.057	0.26	0.12	0.067	0.11	0.11	0.05	0.16
CBO5	mg/L	<1	<1	<1	<1	1.4	<1	<1	1.1	<1	<1	<1
SST	mg/L	1.77	1.35	3.31	2.57	11.00	3.76	<1	2.33	2.67	<1	2.33
SSV	mg/L	1.31	0.90	1.43	1.31	2.80	2.32	0.57	2.00	1.47	0.65	1.33
SSV/SST	%	74	67	43	51	25	62		86	55		57
Amónia	mgN/L	0.001	0.006	0.101	0.036	0.463	0.016	0.035	0.100	0.015	0.016	0.070
Nitratos	mgN/L	0.787	0.941	1.363	1.373	5.685	2.544	0.470	0.634	0.931	0.341	2.993
Azoto Particulado	mg/L	0.011	0.012	0.020	0.018	0.069	0.030	0.014	0.054		0.011	0.047
Azoto total	mg/L	0.799	0.959	1.484	1.426	6.217	2.590	0.519	0.788	0.946	0.368	3.111
Fósforo solúvel	mg/L	0.009	0.014	0.013	0.038	0.127	0.072	0.009	0.013	0.018	0.024	0.078
Fósforo particulado	mg/L	0.003	0.003	0.006	0.006	0.034	0.012	0.003	0.019	0.009	0.002	0.014
Fósforo Total	mg/L	0.013	0.018	0.018	0.044	0.161	0.083	0.012	0.032	0.027	0.026	0.092
Clorofila a	mg/m3	0.42	0.28	0.33	0.43	1.13	0.71	0.72	0.77	1.52	0.43	1.71

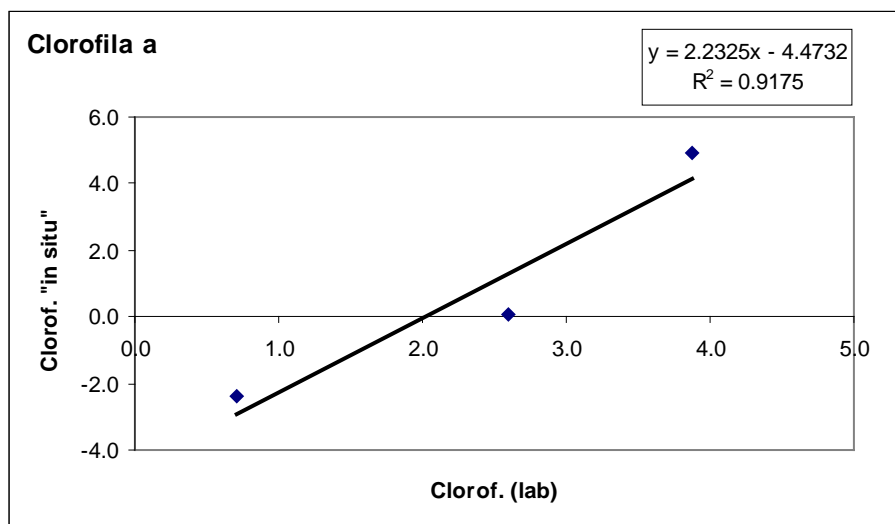
B.1.8. Resultados obtidos na amostragem de 22 e 23 de Julho de 2008, para avaliar possíveis descargas de poluição.

Parâmetro	Unidades	B1. Ponte Nova (rio Vouga)	G2. Descarga no rio Vouga (a jusante da foz do rio Zela)	H3. Ribeira de Oliveira de Frades	I4. Praia fluvial de Sejães (rio Vouga)	J5. Praia fluvial de Sejães (rio Vouga)	L6. Ponte de Antim (rio Varoso)
Oxigénio Dissolvido	mg/L	8.4	8.5	6.1	8.9	8.5	4.1
Temperatura	°C	23.9	27.3	22.8	25.8	26	22.4
Condutividade	µS/cm	59	89	713	73	76	117
Turbidez	NTU	0.02	2.35	18.36	0.32	0.24	9.00
Clorofila a	mg/m ³	2.5	10.8	8.0	10.3	19.5	32.5
Ficocianina	µg/L	0.01	0.28	0.65	0.14	0.17	1.05
CBO5	mg/L	0.5	7.2	5.2	1.1	1	3.2

Anexo B2 – Determinação da clorofila a

B.2.1. Determinação da clorofila a, respeitante à amostragem do dia 23 de Outubro de 2007

	Clorofila a (mg/m ³) laboratório	Clorofila a (mg/m ³) "in- situ"	Clorofila corrigida (mg/m ³)
1. Ribeira da Alombada		-2.4	0.9
2. Carvoeiro		0.8	2.4
3. Rio Mau		-2.5	0.9
4. Ribeira de Pessegueiro		-2.7	0.8
5. Ponte de Pessegueiro	3.5	0.1	2.0
6. Ponte da Salgueira		-2.6	0.8
7. Rio teixeira	0.7	-2.4	0.9
8. Rio Varoso	3.9	4.9	4.2
9. Ponte de Vouzela	2.6	0.1	2.0
10. rio Zela		1.8	2.8
11. Ponte de Sejães		1.9	2.9



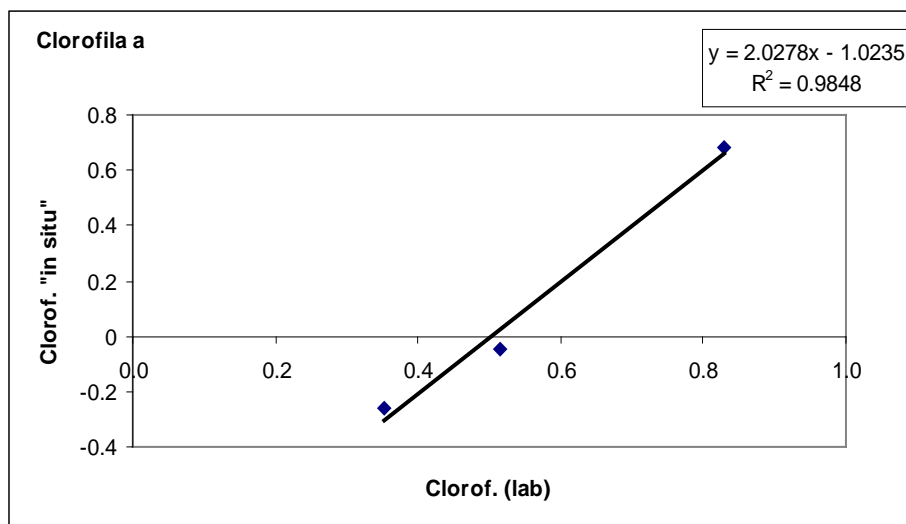
Representação gráfica da clorofila a, respeitante à amostragem do dia 23 de Outubro de 2007, medida por dois métodos distintos

Clorofila a corrigida (mg/m³) = (clorofila a "in situ" – b) / m

B.2.2. Determinação da Clorofila a, no dia 23 de Janeiro de 2008

	Clorofila a (mg/m ³) laboratório	Clorofila a (mg/m ³) "in situ"	Clorofila a corrigida (mg/m ³)
1. Ribeira da Alombada		-0.15	0.4
2. Carvoeiro		0.22	0.6
3. Rio Mau		-0.14	0.4
4. Ribeira de Pessegueiro		-0.01	0.5
5. Ponte de Pessegueiro	0.51	-0.05	0.5
6. Ponte da salgueira		0.035	0.5
7. Rio Teixeira	0.35	-0.26	0.4
8. Rio Varoso	1.98*	0.5*	0.8
9. Ponte de Vouzela	0.83	0.68	0.8
10. Rio Zela		0.78	0.9
11. Ponte de Sejães		0.89	0.9
12. Ribeira da Landeira		-0.13	0.4
13. Ribeira da Ponte de Aiza		1.43	1.2

*valores desprezados



Representação gráfica da clorofila a, respeitante à amostragem do dia 23 de Janeiro de 2008, medida por dois métodos distintos

B.2.3. Determinação da clorofila a, no dia 25 de Fevereiro de 2008

	Clorofila a (mg/m ³) laboratório	Clorofila a (mg/m ³) "in situ"	Clorofila corrigida (mg/m ³)
1. Ribeira da Alombada		0.27	2.0
1A. Ribeira da Alombada		0.29	2.0
3. Rio Mau		0.50	2.2
3A. Minas do Braçal		0.76	2.5
8. Ribeira da Landeira		0.82	2.6
12. Rio Varoso	4.6	2.90	4.6

A clorofila corrigida para os vários pontos de amostragem foi calculada somando à clorofila a medida "in situ" em cada um dos pontos de amostragem, a diferença entre a clorofila a medida em laboratório com a clorofila a determinada "in situ" no ponto de amostragem do rio Varoso.

B.2.3. Determinação da clorofila a, na amostragem do dia 15 e 16 de Abril de 2008

	Clorofila a (mg/m ³) laboratório	Clorofila a (mg/m ³) "in situ"	Clorofila a corrigida (mg/m ³)
1. Ribeira da Alombada		0.42	0.42
1A. Ribeira da Alombada		0.28	0.28
2. Carvoeiro	0.72	0.82	0.82
3. Rio Mau		0.33	0.33
3A. Minas do Braçal		0.43	0.43
4. Ribeira de Pessegueiro		1.13	1.13
5. Ponte de Pessegueiro	0.79	0.77	0.77
6. Ponte da Salgueira		0.71	0.71
7. Rio Teixeira		0.72	0.72
8. Rio Varoso	0.88	0.77	0.77
9. Ponte de Vouzela	0.79	0.92	0.92
10. Rio Zela		1.52	1.52
11. Ponte de Sejães		1.35	1.35
12. Ribeira da Landeira		0.43	0.43
13. Ribeira da Ponte de Aiza		1.71	1.71

Uma vez que não se observou correlação entre os valores determinados em laboratório e os medidos “*in situ*”, usaram-se os valores de clorofila a medidos “*in situ*”.

Anexo C – Modelo SWMM5

Anexo C1 - Comparação entre os caudais medidos e os caudais simulados no SWMM5

C.1.1. Resultados de caudal medidos / simulados, na ribeira da Alombada, para as diferentes datas

Ribeira da Alombada		
Dia	Caudais medido (m3/s)	Caudais simulados (m3/s)
25 de Março de 2007	0.540	0.522
6 de Junho de 2007	0.180	0.204
23 de Novembro de 2007	0.076	0.149
23 de Janeiro de 2008	0.531	0.470
25 de Fevereiro de 2008	0.255	0.347
15 de Abril de 2008	0.970	0.631

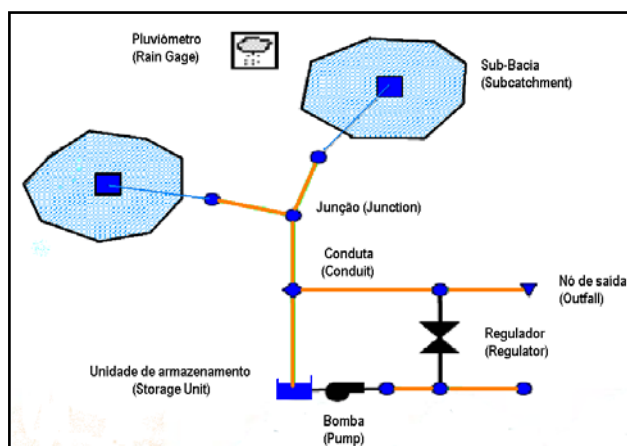
C.1.2. Resultados de caudal medidos / simulados, no rio Mau, para as diferentes datas

Rio Mau		
Dia	Caudais medido (m3/s)	Caudais simulados (m3/s)
25 de Março de 2007	0.910	0.795
6 de Junho de 2007	0.250	0.217
23 de Janeiro de 2008	0.383	0.331
25 de Fevereiro de 2008	0.222	0.322
15 e 16 de Abril de 2008	1.040	0.718

Anexo C2 – Descrição dos componentes do modelo SWMM5

C.2.1. Componentes Visuais

A figura seguinte representa os componentes físicos que se podem apresentar num sistema de drenagem de águas pluviais.



Exemplo de componentes físicos usados no modelo de um sistema de drenagem.

Os **componentes visuais** ou objectos que podem ser representados dentro do mapa do SWMM5 são os pluviómetros (Rain Gage), as bacias hidrográficas (Subcatchments), os nós de junção (Junction Nodes), os nós de saída (Outfall Nodes), os divisores de fluxo (Flow Divider Nodes), os sistemas de armazenamento (Storage Units) e por fim, as condutas (Conduits).

Irá ser feita uma descrição de cada um destes componentes gráficos.

Os pluviómetros fornecem os dados de entrada da precipitação que ocorre sobre uma ou várias bacias hidrográficas definidas na área em estudo. Os dados da chuva podem ser definidos pelo utilizador mediante séries temporais de dados ou podem ser fornecidos por um arquivo externo ao programa.

As bacias hidrográficas são unidades hidrológicas do terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem a água escoada directamente para um ponto de descarga. Cabe ao utilizadores do programa dividir a área em estudo no número adequado de bacias hidrográficas e identificar o ponto de saída (outlet) de cada uma delas. As bacias podem dividir-se em subáreas permeáveis e subáreas impermeáveis. A diferença é que, a água escoada superficialmente pode infiltrar-se na parte superior do terreno das

áreas permeáveis mas não através das áreas impermeáveis. Existem três modelos que descrevem a infiltração da chuva nas zonas permeáveis de uma bacia na parte superior do solo não saturado, nomeadamente o modelo de infiltração de Horton, o modelo de infiltração de Green-Ampt e o modelo de infiltração baseado no Número de Curva do SCS (Soil Conservation Service). Para modelar o fluxo das águas subterrâneas entre um aquífero situado por debaixo da bacia e um nó do sistema de drenagem, é necessário atribuir valores aos parâmetros que determinam a descarga de Águas Subterrâneas (Groundwater parameters) da bacia. A acumulação e arraste dos poluentes desde as bacias podem associar-se com os Usos do Solo (Land Uses) designados daquela bacia. Os restantes parâmetros principais de entrada para uma bacia hidrográfica são: o Pluviómetro correspondente; o nó ou bacia onde existe a descarga da bacia representada; os usos de solo correspondentes; as áreas das superfícies tributárias; a percentagem de impermeabilização; a inclinação da bacia; a largura característica do fluxo de superfície; o n de Manning para o fluxo superficial tanto para áreas impermeáveis como para áreas permeáveis; o armazenamento em depressões tanto para áreas impermeáveis como para áreas permeáveis; a percentagem de solo impermeável sem armazenamento em depressão.

As junções são nós do sistema de drenagem onde confluem diferentes linhas entre si e por onde entram as contribuições externas de caudal (parâmetro de entrada opcional). Fisicamente podem representar a confluência de canais superficiais naturais, poços do sistema de drenagem, ou elementos de junção de tubos. Os principais parâmetros de entrada de um nó de junção são: a cota do fundo do nó, a profundidade do nó, e a área superficial da área alagada quando se produz um fenómeno de inundação (parâmetro de entrada opcional).

Os nós de saída são nós terminais do sistema de drenagem utilizados para definir as condições limite na descarga de água do sistema no caso de se utilizar o modelo de fluxo por Onda Dinâmica (Dynamic Wave). Para outros tipos de fluxo, os nós de saída comportam-se como junções. Uma restrição do modelo é que só é possível associar uma linha com um nó de saída. Os principais parâmetros de entrada de um nó de saída são a cota de fundo, a descrição do tipo e estado da condição de fronteira e a presença de uma válvula de açude para prevenir o fluxo inverso a partir do nó de saída.

Os divisores de fluxo são nós do sistema de transporte utilizados para dividir o fluxo nas condutas de saída, sendo este modo definido pelo utilizador.

Os sistemas de armazenamento são os elementos do sistema de drenagem com a capacidade de armazenar determinados volumes de água. Fisicamente podem ser representados desde sistemas de armazenamento pequenos como bacias reduzidas até grandes sistemas, como é o caso de lagos.

As condutas são tubos ou canais pelos quais a água se desloca de um nó para outro do sistema de transporte. É possível seleccionar a secção transversal, e são várias as geometrias abertas e fechadas definidas no programa. Mesmo assim o programa permite também definir áreas de secção transversal irregular, permitindo representar com ele canais naturais. O SWMM5 utiliza a equação de Manning para estabelecer a relação entre o caudal que circula pela conduta (Q), a secção do mesmo (A), o raio hidráulico (Rh) e a inclinação (S), tanto para canais abertos como para condutas fechadas parcialmente cheias. Em unidades do Sistema Internacional a equação de Manning escreve-se:

$$Q = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} \times \sqrt{S}$$

onde n é o coeficiente de rugosidade de Manning. Para o caso de Fluxo Uniforme (Steady Flow) e para o caso de análises mediante onda cinemática (Kinematic Wave), S interpreta-se como a inclinação do fundo do escoamento. No caso de se utilizar o modelo Onda Dinâmica (Dynamic Wave) interpreta-se como a inclinação hidráulica do fluxo (isto é, perda de energia por unidade de comprimento). Os principais parâmetros de entrada para as condutas são: os nomes dos nós de entrada e saída, a altura da conduta quanto à cota de fundo e quanto aos nós final e inicial, o comprimento da conduta, o coeficiente de Manning, a geometria da secção transversal da conduta, o coeficiente de perdas tanto para a entrada como para a saída da conduta e a presença de uma válvula de comporta para prevenir o fluxo inverso.

As bombas são elementos incluídos ao sistema de drenagem para elevar a água. Representam-se no programa como um tipo de linhas com uma curva característica. A curva da bomba descreve a relação que existe entre o caudal na bomba e as condições de contorno nos nós de entrada e saída da mesma.

Os Reguladores de Caudal (Flow Regulators) são estruturas e dispositivos utilizados para controlar e derivar os caudais dentro do sistema de transporte. Os elementos reguladores de caudal que o SWMM5 pode modelar são os orifícios (Orifices), as barragens (Weirs) e os descarregadores (Outlets).

C.2.2. Objectos sem representação gráfica

Além dos elementos físicos que podem ser visualizados no mapa, O EPA-SWMM5 utiliza as seguintes categorias de objectos sem representação para descrever cada processo, bem como as suas características adicionais dentro de uma área de estudo. Neste conjunto de **objectos sem representação gráfica** estão incluídos a climatologia, os aquíferos, os hidrogramas unitários, as secções transversais, as contribuições externas de caudal, os usos do solo, as séries temporais de dados e as curvas. Irá ser feita uma breve descrição de cada um destes objectos.

A climatologia inclui a temperatura, a evaporação, a velocidade do vento e o derretimento da neve. Os dados de temperatura do ar utilizam-se para simular os processos de caída e derretimento da neve durante os cálculos de escoamento. No caso de não simular este tipo de processos não é necessário introduzir os dados de temperatura. No que diz respeito à evaporação, esta pode-se dar para águas estagnadas nas superfícies das sub-bacias, para a água subterrânea contida no solo, e para a água acumulada nas unidades de armazenamento. A quantidade de água evaporada pode-se definir num único valor constante, num sistema de valores médios mensais, numa série temporal de valores diários definidos pelo utilizador ou por valores diários lidos de um arquivo climatológico externo. A velocidade do vento e os parâmetros de derretimento da neve são variáveis climatológicas opcionais que se utilizam somente nos cálculos de derretimento de neve.

Os aquíferos são áreas sub-superficiais de água subterrânea utilizadas para modelar o movimento vertical da água infiltrada desde as sub-bacias que se encontram na parte superior. Do mesmo modo, também permitem a infiltração das águas subterrâneas no sistema de transporte ou vice – versa, dependendo isto do gradiente hidráulico existente. O mesmo objecto aquífero pode ser partilhado por diferentes sub-bacias. Os aquíferos são necessários unicamente em modelos que contemplem a possibilidade de intercâmbio de volumes de água entre águas subterrâneas e o sistema de drenagem ou sistemas que estabelecem os caudais de base e as curvas de retrocesso de leitos naturais, e sistemas não urbanos. Os aquíferos representam-se utilizando duas zonas, uma zona insaturada e outra zona saturada. O seu comportamento caracteriza-se utilizando parâmetros tais como a porosidade do solo, a condutividade hidráulica, a profundidade da evapotranspiração, a cota da parte superior do aquífero, e as perdas em função da profundidade do poço. Além disso deve-se introduzir como dados uma tabela com dados de nível inicial e mistura inicial da zona insaturada. Os aquíferos ligam-se através das sub-bacias e os nós do sistema de drenagem tal como se descreve no menu

Groundwater Flow da sub-bacia. Este menu também contém parâmetros que controlam o caudal da água subterrânea entre a zona saturada do aquífero e o nó do sistema de drenagem.

Os hidrogramas unitários (UH's) utilizam-se para estimar infiltrações e entradas de caudal nas condutas dependentes da precipitação (RDII). Um hidrograma unitário contém até três destes hidrogramas, um para resposta a curto prazo, outro para resposta a médio prazo e outro para resposta a longo prazo. Um grupo de hidrogramas unitários pode ter até 12 hidrogramas unitários diferentes, um para cada um dos meses do ano. Cada grupo de hidrogramas unitários considera-se como objecto individual do SWMM5, ao qual se atribui um nome único com o nome indicativo da chuva que contém os dados de precipitação necessários.

As secções transversais referem-se a dados geométricos que descrevem como varia a cota de fundo da condução em função da distância ao longo de uma secção longitudinal de um canal natural ou de uma condução com secção irregular.

Além das entradas de caudal provenientes da escorrência e das águas subterrâneas das sub-bacias, os nós do sistema de drenagem podem receber outros três tipos de contribuições externas de caudal nomeadamente as contribuições directas de caudal (Direct Inflow) que são séries temporais de valores de caudais que entram directamente no nó definido pelo utilizador, os caudais em tempo seco (Dry Weather Inflow) que reflectem as contribuições que os caudais de águas negras realizam no sistema de drenagem e por fim, as entradas e infiltrações relacionadas com as chuvas (Rainfall-Derived Infiltration/Inflow, RDII). Estas últimas contribuições dizem respeito a caudais provenientes das águas da chuva que se introduzem no sistema de saneamento devido a contribuições directas nas condutas e acessórios.

Os usos do solo são categorias das actividades desenvolvidas ou características superficiais do solo designadas às sub-bacias. Alguns exemplos de usos do solo são: uso residencial, industrial, comercial e urbanizado. As características superficiais do solo incluem parâmetros tais como relva, pavimentos, terraços, solos em uso, etc. Os usos de solo utilizam-se unicamente para considerar os fenómenos de acumulação e arraste de contaminantes das sub-bacias. Relativamente às perdas por infiltração, a relação com o uso do solo é traduzida pelo Número da Curva de escoamento que é atribuído a cada bacia.

As séries temporais de dados são objectos definidos no SWMM5 para descrever determinadas propriedades de alguns dos objectos de projecto que variam com o tempo.

Estas séries temporais podem utilizar-se para introduzir dados de temperatura, dados de evaporação, dados da precipitação, níveis de nós de descarga e hidrogramas externos de entrada de caudal ao sistema de saneamento através dos nós. Cada uma das Séries Temporais de Dados deve ter o seu próprio nome identificativo que há-de ser único dentro de um mesmo projecto no SWMM5. A cada uma destas curvas pode-se-lhe atribuir tantos dados quantos se desejem. O tempo pode ser especificado tanto em horas, desde o início da simulação, como uma referência absoluta a uma data e hora concreta. Para as séries temporais de chuva só é necessário introduzir os períodos em que a chuva é não nula. O SWMM5 interpreta que o valor da chuva introduzida é constante ao longo do intervalo especificado no pluviómetro (Rain Gage) que emprega a dita série temporal. Para o resto das séries temporais o SWMM5 realiza uma interpolação para estimar os valores em instantes de tempo intermédio aos introduzidos. Para valores de tempo que caem fora da gama definida pela série temporal, o SWMM5 utiliza o valor 0 para as séries temporais de chuva e contribuições externas de caudal (inflow), e usa o primeiro ou o último dos valores da série para o caso de dados de temperatura, evaporação e nível dos nós de descarga.

Anexo C3 – Caracterização do tipo e uso do solo para aplicação no modelo SWMM5

C.3.1. Definição do tipo de solos segundo NRCS (National Resources Conservation Service) [26] e [38]

Tipo	Descrição	K
A	Solos com baixo potencial de escoamento superficial. São solos com elevadas intensidades de infiltração uma vez que incluem principalmente areias profundas, com drenagem boa ou excessiva.	≥ 114
B	Solos com potencial de escoamento superficial abaixo da média e transmissividade média. São solos com intensidades de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos e incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira e medianamente drenados.	76,2 – 38,1
C	Solos com potencial de escoamento superficial acima da média e transmissividade baixa. São solos com baixas intensidades de infiltração, quando completamente humedecidos e incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina.	38,1 – 12,7
D	Solos com elevado potencial de escoamento superficial e transmissividade muito baixa. São solos com intensidades de infiltração muito baixas quando se encontram completamente humedecidos. Incluem principalmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade.	$\leq 12,7$

C.3.2. Características do solo [38]

Textura do solo	K (mm/h)	Ψ (mm)	ϕ	FC	WP
Areia	120,40	49	0,437	0,062	0,024
Areia-franco	29,97	61	0,437	0,105	0,047
Franco arenoso	10,92	110	0,453	0,190	0,085
Franco	3,30	89	0,463	0,232	0,116
Sedimentos de franco	6,60	170	0,501	0,284	0,135
Franco arenoso-argiloso	1,52	220	0,398	0,244	0,136
Franco argiloso	1,02	210	0,464	0,310	0,187
Sedimentos franco-argiloso	1,02	270	0,471	0,342	0,210
Argila-arenoso	0,51	240	0,430	0,321	0,221
Sedimentos de argila	0,51	290	0,479	0,371	0,251
Argila	0,25	320	0,475	0,378	0,265

K – Condutividade Hidráulica de saturação (mm/h)

Ψ – Altura de Sucção (mm)

Φ – Porosidade (fracção)

FC – Capacidade de campo (fracção)

WP – Ponto de Emurchecimento (fracção)

C.3.3 – Número de curva para o escoamento (Curve Number) segundo SCS (Soil Conservation Service) [38]

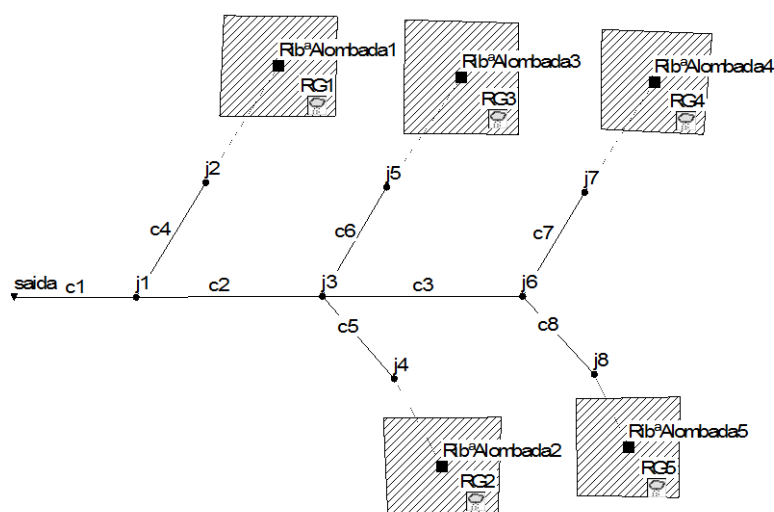
Uso do Solo		Tipos de solo			
		A	B	C	D
Terra Lavrada	Não cultivada	72	81	88	91
	Cultivada	62	71	78	81
Pastagens	Pobres	68	79	86	89
	Boas	39	61	74	80
Prados em Boas condições		30	58	71	78
Floresta	Pouco densas	45	66	77	83
	Densas	25	55	70	77
Espaços abertos (relvados, campos de golfe, ...)	Boas condições ($\geq 75\%$ de cobertura com relva)	39	61	74	80
	Fracas condições (50-75% de cobertura de relva)	49	69	79	84
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Área industrial (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Área residencial; tamanho médio dos lotes (% impermeável)	< 500 m ² (65%)	77	85	90	92
	1000 m ² (38%)	61	75	83	87
	1500 m ² (30%)	57	72	81	86
	2000 m ² (25%)	54	70	80	85
	4000 m ² (20%)	51	68	79	84
Parques pavimentados, ruas, estradas, telhados ...		98	98	98	98
Ruas e estradas	Pavimentados, com sarjetas e colectores	98	98	98	98
	Empedradas	76	85	89	91
	Terra batida	72	82	87	89

C.3.4. Coeficiente n de Manning para escorrência superficial [38]

Superfície		n
	Asfalto liso	0,011
	Betão liso	0,012
	Revestimento com betão liso	0,013
	Madeira polida	0,014
	Tijolo revestido com cimento	0,014
	Argila vitrificada	0,015
	Fundição de ferro	0,015
	Tubo de metal ondulado	0,024
	Superfície de cascalho	0,024
	Terreno não cultivado	0,05
Terreno cultivado	Cobertura de resíduos <20%	0,06
	Cobertura de resíduos > 20%	0,17
	Pasto Natural	0,13
Relva	Pequena	0,15
	Densa	0,24
	Bermuda	0,41
Floresta	Cobertura pouco densa de arbustos	0,40
	Cobertura densa de arbustos	0,80

Anexo C4 – Representação no modelo e dados de entrada de cada uma das sub-bacias do Médio Vouga

C.4.1 – Ribeira da Alombada

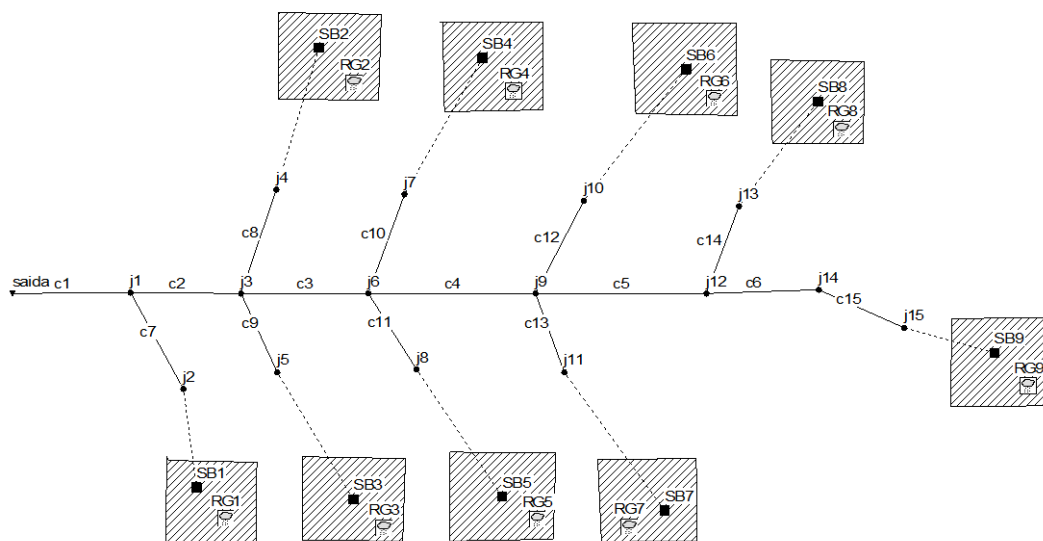


	1	2	3	4	5
Subcatchment	RibªAlombada 1	RibªAlombada 2	RibªAlombada 3	RibªAlombada 4	RibªAlombada 5
Area (ha)	708	297	409	276	726
Width (m)	532	567	671	392	1176
% Slope	29.6	29.2	23.1	22.2	21.1
% Imperv	1.18	0.68	2.38	0.9	1.25
N-Imperv	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
N-Perv	0.4	0.4	0.2	0.4	0.2
Infiltration Editor	CN	CN	CN	CN	CN
Curve Number	74	72	74	72	62
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5
Surface Elevation (m)	147	323	263	511	543
Groundwater Flow Coeff.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Groundwater Flow Expon.	4	4	4	4	4

Thereshold Groundwater Elev. (m)	137	313	253	501	533
Aquífer Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5
Porosity (fraction)	0.45	0.45	0.45	0.454	0.458
Wilting Point (fraction)	0.136	0.13	0.136	0.111	0.109
Field Capacity (fraction)	0.264	0.25	0.264	0.217	0.212
Conductivity (mm/h)	4.06	4.5	4.06	5.59	5.77
Bottom Elevation (m)	137	313	253	501	533
Water Table Elevation (m)	137	313	253	501	533

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	10
c2	5105	j2	147
c3	2596	j3	130
c4	6665	j4	323
c5	2155	j5	263
c6	3043	j6	280
c7	3514	j7	543
c8	3086	j8	511
Outfall			9

C.4.2. Rio Mau



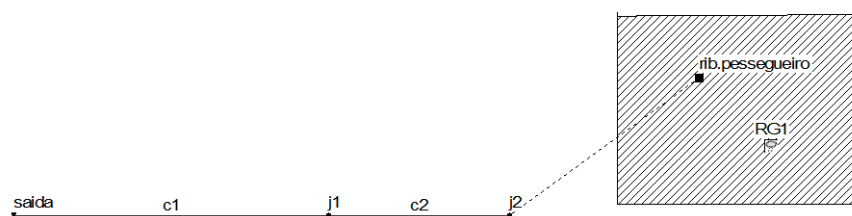
Estudo da relação entre o caudal e os indicadores da qualidade da água no médio Vouga

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Subcatchment	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9
Area (ha)	152	214	399	140	319	224	483	894	256
Width (m)	553	615	591	447	438	598	847	1278	676
% Slope	34.2	26.7	29	19.6	39.4	22.2	23.9	22.3	24.1
% Imperv	0.29	1.24	0.84	6.24	0.59	1.65	1.53	3.58	0.77
N-Imperv	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.013	0.013	0.011	0.013
N-Perv	0.4	0.3	0.4	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3
Infiltration Editor	CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN
Curve Number	74	77	77	78	74	74	76	76	76
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5	aq6	aq7	aq8	aq9
Surface Elevation (m)	94	210	190	262	223	279	266	427	676
Groundwater Flow Coeff.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Groundwater Flow Expon.	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Thereshold Groundwater Elev. (m)	84	200	180	252	213	269	256	417	666
Aquifer Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5	aq6	aq7	aq8	aq9
Porosity (fraction)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Wilting Point (fraction)	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136
Field Capacity (fraction)	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
Conductivity (mm/h)	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Bottom Elevation (m)	84	200	180	252	213	269	256	417	666
Water Table Elevation (m)	84	200	180	252	213	269	256	417	666

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	11
c2	1632	j2	94
c3	2070	j3	50
c4	1544	j4	210
c5	2193	j5	190
c6	2895	j6	110
c7	1351	j7	162
c8	1665	j8	223
c9	3380	j9	160

c10	1563	j10	279
c11	2370	j11	266
c12	1874	j12	230
c13	2605	j13	427
c14	3496	j14	470
c15	1893	j15	676
Outfall			10

C.4.3. Ribeira de Pessegueiro

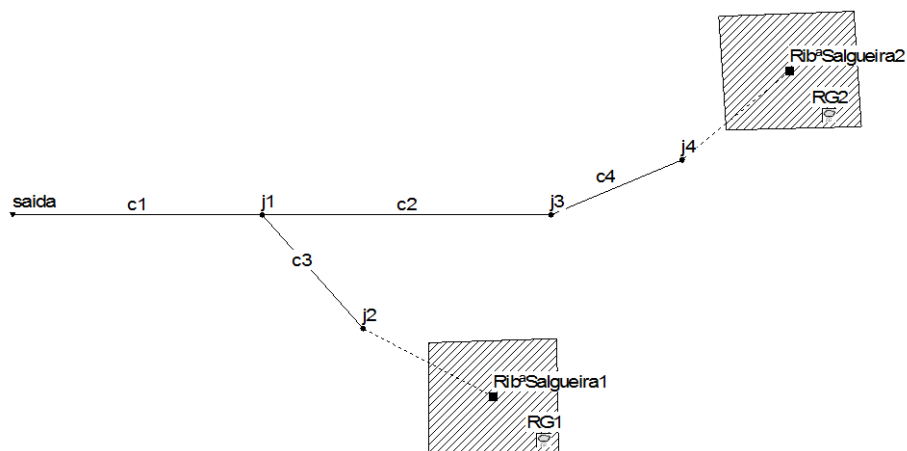


Subcatchment	SB1
Area (ha)	580
Width (m)	583
% Slope	19.3
% Imperv	4.83
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.23
Infiltration Editor	CN
Curve Number	78
Groundwater Editor	aq1
Surface Elevation (m)	264
Groundwater Flow Coeff.	0.06
Groundwater Flow Expon.	2
Thereshold Groundwater Elev. (m)	254

Aquífer Editor	aq1
Porosity (fraction)	0.45
Wilting Point (fraction)	0.136
Field Capacity (fraction)	0.264
Conductivity (mm/h)	4.06
Bottom Elevation (m)	254
Water Table Elevation (m)	254

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	21
c2	4974	j2	264
		Outfall	20

C.4.4 – Ribeira da Salgueira

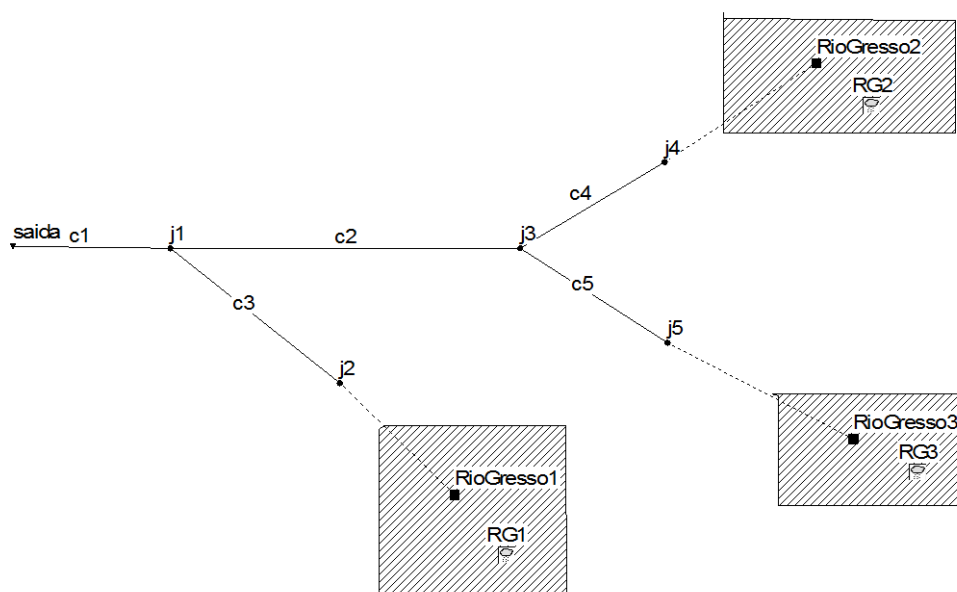


Subcatchment	RibªAlombada1	RibªAlombada2
Area (ha)	486	675
Width (m)	637	1018
% Slope	30.2	27.2
% Imperv	2.9	2.6
N-Imperv	0.013	0.013
N-Perv	0.193	0.193

Infiltration Editor	CN	CN
Curve Number	76	65
Groundwater Editor	aq1	aq2
Surface Elevation (m)	237	539
Groundwater Flow Coeff.	0.05	0.05
Groundwater Flow Expon.	4	4
Thershold Groundwater Elev. (m)	227	529
Aquifer Editor	aq1	aq2
Porosity (fraction)	0.45	0.45
Wilting Point (fraction)	0.136	0.136
Field Capacity (fraction)	0.264	0.264
Conductivity (mm/h)	4.06	4.06
Bottom Elevation (m)	227	529
Water Table Elevation (m)	227	529

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	31
c2	3947	j2	237
c3	3813	j3	270
c4	3314	j4	539
		Outfall	30

C.4.5. Rio Gresso

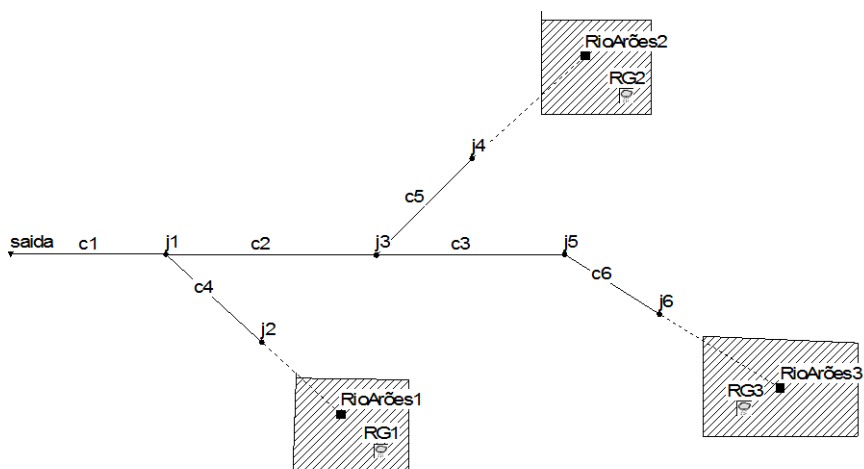


Subcatchment	RioGrosso1	RioGrosso2	RioGrosso3
Area (ha)	238	442	482
Width (m)	700	908	793
% Slope	26.64	29.9	21.73
% Imperv	1	1	1
N-Imperv	0.011	0.011	0.011
N-Perv	0.4	0.23	0.23
Infiltration Editor	CN	CN	CN
Curve Number	60	60	60
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3
Surface Elevation (m)	142	412	380
Groundwater Flow Coeff.	0.05	0.06	0.06
Groundwater Flow Expon.	2	2	2
Thereshold Groundwater Elev. (m)	132	402	370
Aquifer Editor	aq1	aq2	aq3
Porosity (fraction)	0.398	0.464	0.464
Wilting Point (fraction)	0.136	0.187	0.187

Field Capacity (fraction)	0.244	0.31	0.31
Conductivity (mm/h)	1.52	1.02	1.02
Bottom Elevation (m)	132	402	370
Water Table Elevation (m)	132	402	370

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	47
c2	2533	j2	142
c3	1700	j3	295
c4	2434	j4	412
c5	3039	j5	380
		Outfall	45

C.4.6. Rio Arões



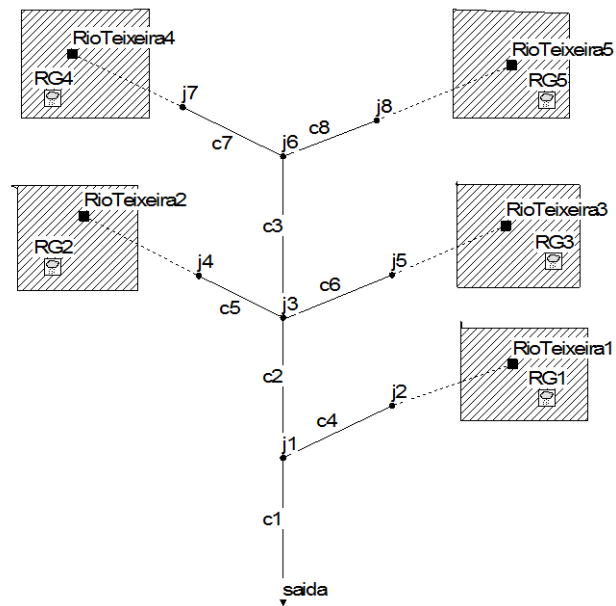
Subcatchment	SB1	SB2	SB3
Area (ha)	682	877	938
Width (m)	1179	1348	1252
% Slope	22.6	15.8	20
% Imperv	1.91	2.01	2.31
N-Imperv	0.011	0.011	0.011

Estudo da relação entre o caudal e os indicadores da qualidade da água no médio Vouga

N-Perv	0.3	0.3	0.3
Infiltration Editor	CN	CN	CN
Curve Number	65	67	65
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3
Surface Elevation (m)	310	512	709
Groundwater Flow Coeff.	0.06	0.05	0.05
Groundwater Flow Expon.	2.5	2.5	2.5
Thereshold Groundwater Elev. (m)	300	502	699
Aquifer Editor	aq1	aq2	aq3
Porosity (fraction)	0.464	0.464	0.464
Wilting Point (fraction)	0.187	0.187	0.187
Field Capacity (fraction)	0.31	0.31	0.31
Conductivity (mm/h)	1.02	1.02	1.02
Bottom Elevation (m)	300	502	699
Water Table Elevation (m)	300	502	699

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	48
c2	4875	j2	310
c3	4625	j3	380
c4	2894	j4	512
c5	3253	j5	525
c6	3748	j6	709
		Outfall	46

C.4.7. Rio Teixeira

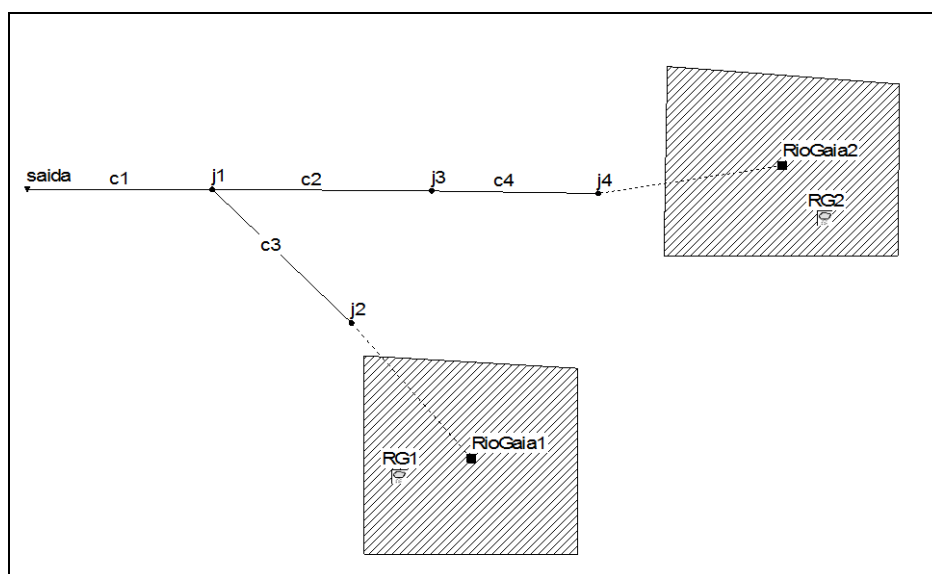


Subcatchment	RioTeixeira1	RioTeixeira2	RioTeixeira3	RioTeixeira4	RioTeixeira5
Area (ha)	1478	1352	2534	932	978
Width (m)	1378	1639	2019	948	1201
% Slope	21.9	23.34	31.68	18.64	20.19
% Imperv	2.18	1.72	0.86	0	1.38
N-Imperv	0.012	0.013	0.013	0.013	0.013
N-Perv	0.64	0.6	0.4	0.3	0.5
Infiltration Editor	CN	CN	CN	CN	CN
Curve Number	65	65	65	65	65
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5
Surface Elevation (m)	318	596	645	915	878
Groundwater Flow Coeff.	0.07	0.08	0.04	0.07	0.05
Groundwater Flow Expon.	2	2	2	3	3
Threshold Groundwater Elev. (m)	308	586	635	905	868
Aquífer Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5
Porosity (fraction)	0.398	0.398	0.398	0.398	0.398
Wilting Point (fraction)	0.136	0.136	0.136	0.136	0.136
Field Capacity (fraction)	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244
Conductivity (mm/h)	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52

Bottom Elevation (m)	308	586	635	905	868
Water Table Elevation (m)	308	586	635	905	868

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	55
c2	5750	j2	318
c3	5475	j3	125
c4	5432	j4	596
c5	4121	j5	645
c6	6274	j6	518
c7	4917	j7	915
c8	4073	j8	878
Outfall			53

C.4.8. Rio Gaia

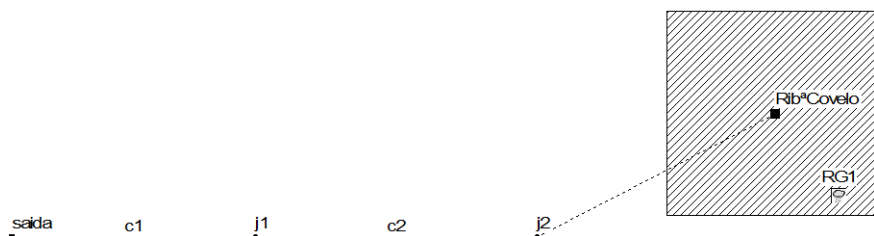


Subcatchment	RioGaia1	RioGaia2
Area (ha)	459	1110
Width (m)	698	1418
% Slope	25.21	20.48
% Imperv	1	1

N-Imperv	0.011	0.011
N-Perv	0.2	0.2
Infiltration Editor	CN	CN
Curve Number	65	65
Groundwater Editor	aq1	aq2
Surface Elevation (m)	143	290
Groundwater Flow Coeff.	0.04	0.05
Groundwater Flow Expon.	4	3
Thereshold Groundwater Elev. (m)	133	280
Aquifer Editor	aq1	aq2
Porosity (fraction)	0.501	0.501
Wilting Point (fraction)	0.135	0.135
Field Capacity (fraction)	0.31	0.31
Conductivity (mm/h)	6.6	6.6
Bottom Elevation (m)	133	280
Water Table Elevation (m)	133	280

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	58
c2	3725	j2	143
c3	3288	j3	220
c4	3917	j4	290
		Outfall	56

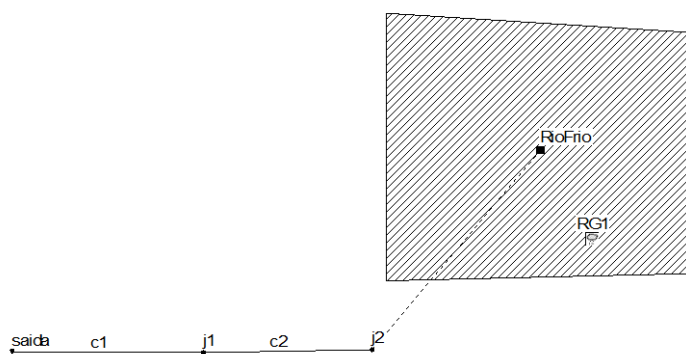
C.4.9. Ribeira do Covelo



Subcatchment	RibªCovelo
Area (ha)	938
Width (m)	817
% Slope	19.58
% Imperv	1
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.32
<hr/>	
Infiltration Editor	CN
Curve Number	65
<hr/>	
Groundwater Editor	aq1
Surface Elevation (m)	155
Groundwater Flow Coeff.	0.07
Groundwater Flow Expon.	2
Thereshold Groundwater Elev. (m)	145
<hr/>	
Aquifer Editor	aq1
Porosity (fraction)	0.464
Wilting Point (fraction)	0.187
Field Capacity (fraction)	0.31
Conductivity (mm/h)	1.02
Bottom Elevation (m)	145
Water Table Elevation (m)	145

Conduits	Length (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	64
c2	5741	j2	155
		Outfall	62

C.4.10. Rio Frio

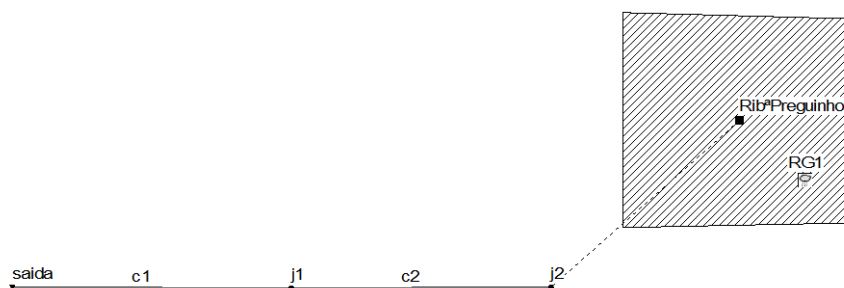


Subcatchment	RioFrio
Area (ha)	549
Width (m)	605
% Slope	23.57
% Imperv	2
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.27
Infiltration Editor	CN
Curve Number	65
Groundwater Editor	aq1
Surface Elevation (m)	141
Groundwater Flow Coeff.	0.03
Groundwater Flow Expon.	4
Thereshold Groundwater Elev. (m)	131

Aquifer Editor	aq1
Porosity (fraction)	0.501
Wilting Point (fraction)	0.135
Field Capacity (fraction)	0.31
Conductivity (mm/h)	6.6
Bottom Elevation (m)	131
Water Table Elevation (m)	131

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	75
c2	4540	j2	141
		Outfall	73

C.4.11. Ribeira do Preguinho

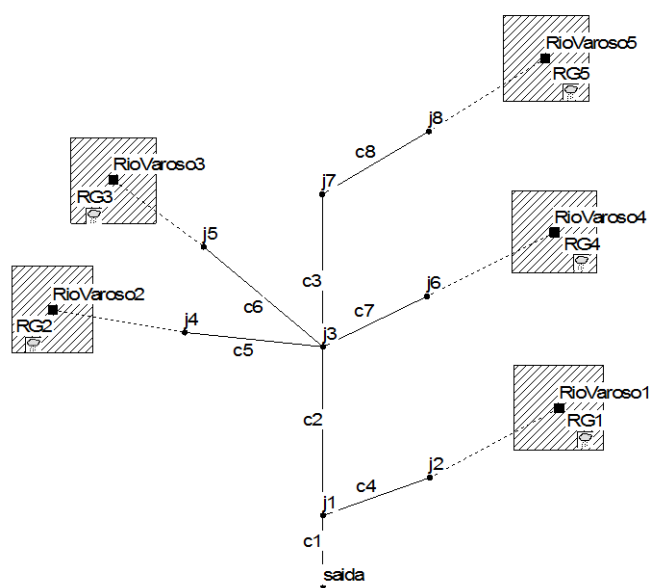


Subcatchment	RibªPreguinho
Area (ha)	452
Width (m)	623
% Slope	20.94
% Imperv	1
N-Imperv	0.011
N-Perv	0.2

Infiltration Editor	CN
Curve Number	70
Groundwater Editor	aq1
Surface Elevation (m)	164
Groundwater Flow Coeff.	0.03
Groundwater Flow Expon.	4
Thereshold Groundwater Elev. (m)	154
Aquifer Editor	aq1
Porosity (fraction)	0.501
Wilting Point (fraction)	0.135
Field Capacity (fraction)	0.284
Conductivity (mm/h)	6.6
Bottom Elevation (m)	154
Water Table Elevation (m)	154

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	85
c2	3628	j2	164
		Outfall	83

C.4.12. Rio Varoso

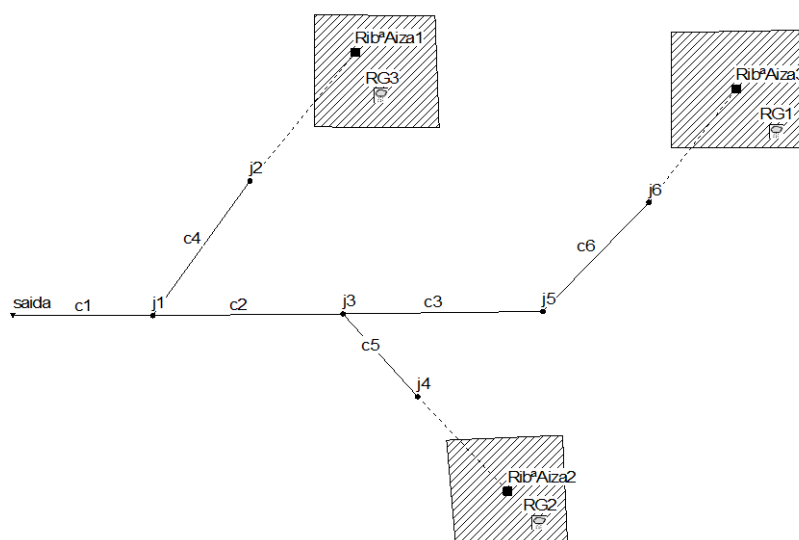


Subcatchment	RioVaroso1	RioVaroso2	RioVaroso3	RioVaroso4	RioVaroso5
Area (ha)	479	938	1088	2313	1496
Width (m)	1053	1473	921	2216	1346
% Slope	25.88	22.34	24.23	15.79	20.72
% Imperv	1.64	1.23	1.08	1.84	1.62
N-Imperv	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
N-Perv	0.32	0.32	0.23	0.23	0.23
Infiltration Editor	CN	CN	CN	CN	CN
Curve Number	70	70	65	65	65
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5
Surface Elevation (m)	377	719	648	437	575
Groundwater Flow Coeff.	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03
Groundwater Flow Expon.	4	4	3	2	3
Threshold Groundwater Elev. (m)	367	709	638	427	565
Aquifer Editor	aq1	aq2	aq3	aq4	aq5
Porosity (fraction)	0.464	0.464	0.398	0.398	0.398
Wilting Point (fraction)	0.182	0.182	0.136	0.136	0.136
Field Capacity (fraction)	0.31	0.31	0.244	0.244	0.244
Conductivity (mm/h)	1.02	1.02	1.52	1.52	1.52

Bottom Elevation (m)	367	709	638	427	565
Water Table Elevation (m)	367	709	638	427	565

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	100
c2	9250	j2	377
c3	6000	j3	248
c4	2274	j4	719
c5	3184	j5	648
c6	5907	j6	437
c7	5220	j7	328
c8	5559	j8	575
		Outfall	98

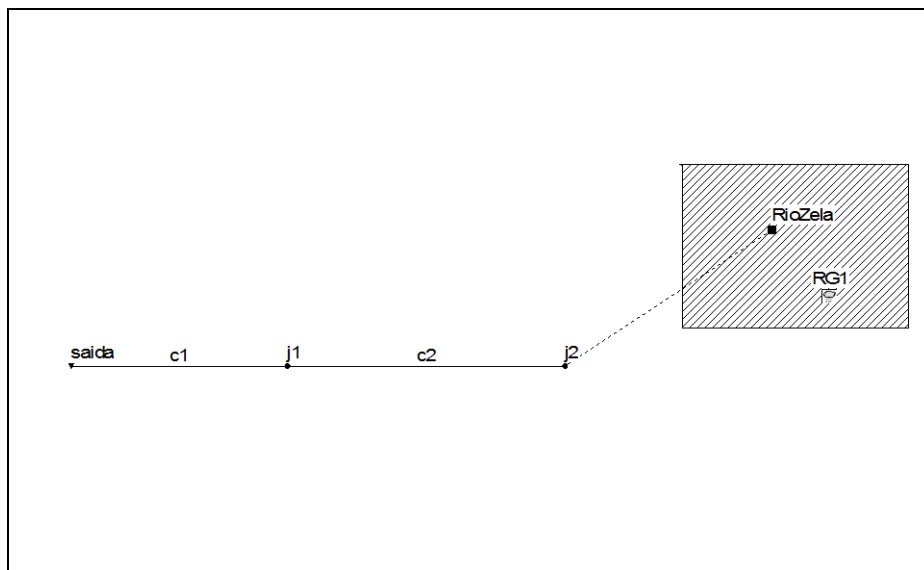
C.4.13. Ribeira da Ponte de Aiza



Subcatchment	RibªAiza1	RibªAiza2	RibªAiza3
Area (ha)	429	676	632
Width (m)	491	683	808
% Slope	19.1	15.1	17.2
% Imperv	3.26	3.22	2.59
N-Imperv	0.013	0.013	0.013
N-Perv	0.16	0.16	0.16
Infiltration Editor	CN	CN	CN
Curve Number	70	70	70
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3
Surface Elevation (m)	353	411	591
Groundwater Flow Coeff.	0.09	0.09	0.09
Groundwater Flow Expon.	2	2	2
Threshold Groundwater Elev. (m)	343	401	581
Aquifer Editor	aq1	aq2	aq3
Porosity (fraction)	0.398	0.398	0.398
Wilting Point (fraction)	0.187	0.187	0.187
Field Capacity (fraction)	0.31	0.31	0.31
Conductivity (mm/h)	1.02	1.02	1.02
Bottom Elevation (m)	343	401	581

Water Table Elevation (m)	343	401	581
Conduits	Length (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	112
c2	1298	j2	353
c3	1754	j3	260
c4	4369	j4	411
c5	4950	j5	380
c6	3910	j6	591
		Outfall	110

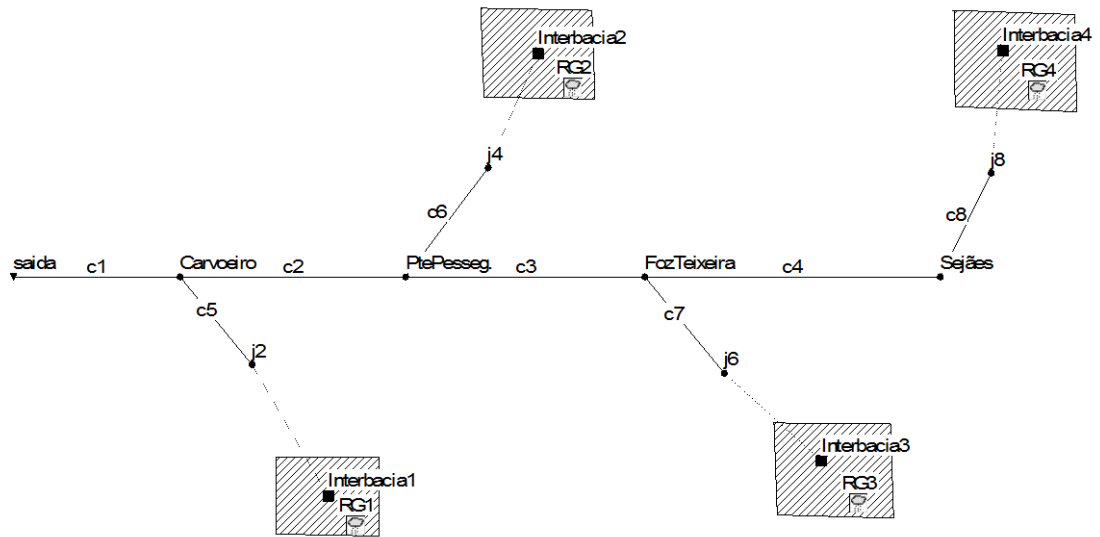
C.4.14. Rio Zela



Subcatchment	RioZela
Area (ha)	1896
Width (m)	1192
% Slope	18.9
% Imperv	3.802
N-Imperv	0.013
N-Perv	0.16
Infiltration Editor	CN

Curve Number	60		
Groundwater Editor	aq1		
Surface Elevation (m)	556		
Groundwater Flow Coeff.	0.11		
Groundwater Flow Expon.	2		
Thereshold Groundwater Elev. (m)	546		
Aquifer Editor	aq1		
Porosity (fraction)	0.398		
Wilting Point (fraction)	0.187		
Field Capacity (fraction)	0.31		
Conductivity (mm/h)	1.02		
Bottom Elevation (m)	546		
Water Table Elevation (m)	546		
Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert Elevation (m)
c1	10	j1	131
c2	7380	j2	556
		Outfall	130

C.4.15. Interbacias



Subcatchment	Interbacia1	Interbacia2	Interbacia3	Interbacia4
Area (ha)	1438	3362	2035	3129
Width (m)	611	975	662	907
% Slope	26.47	24.83	24.64	25.91
% Imperv	0.1	0.1	0.1	0.1
N-Imperv	0.013	0.011	0.012	0.013
N-Perv	0.25	0.23	0.4	0.17
Infiltration Editor	CN	CN	CN	CN
Curve Number	65	65	65	65
Groundwater Editor	aq1	aq2	aq3	aq4
Surface Elevation (m)	116	187	281	258
Groundwater Flow Coeff.	0.01	0.01	0.01	0.01
Groundwater Flow Expon.	2	2	2	2
Thereshold Groundwater Elev. (m)	106	177	271	248
Aquifer Editor	aq1	aq2	aq3	aq4
Porosity (fraction)	0.464	0.464	0.398	0.398
Wilting Point (fraction)	0.136	0.187	0.136	0.187

Field Capacity (fraction)	0.284	0.31	0.244	0.284
Conductivity (mm/h)	4	1.02	3	4
Bottom Elevation (m)	106	177	271	248
Water Table Elevation (m)	106	177	271	248

Conduits	Lenght (m)	Junctions	Invert elevation (m)
c1	10	Carvoeiro	8
c2	8407	j2	116
c3	12238	PtePesseg	20
c4	10016	j4	187
c5	11743	FozTeixeira	53
c6	17244	j6	281
c7	15377	Sejães	83
c8	17242	j8	258
		Outfall	7
