

CARACTERIZAÇÃO DO IMPACTE DAS DESCARGAS DA ETAR DE PÓVOA DE RIO DE MOINHOS E CAFEDE NO RIO OCREZA

Pedro Dinis Nunes Almeida

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Infra-estruturas de Construção Civil realizada sob a orientação científica da Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, Professora Adjunta da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil e co-orientação científica da Mestre Ana Maria dos Santos Ferreira Professora Adjunta da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Texto de dedicatória

“Tenho em mim todos os sonhos do mundo”

Fernando Pessoa (1888-1935)

“As ideias das pessoas são pedaços da sua felicidade”

William Shakespeare (1554-1616)

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem”

Fernando Pessoa (1888-1935)

Aos meus pais António e Fernanda, pessoas simples,
que desde cedo me ensinaram que a educação é a
base da nossa transformação como seres.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram com o seu conhecimento para este trabalho.

À minha família pela educação e amor ao longo dos tempos.

À minha Mina (Sílvia) que me ajudou a iniciar este trabalho, me transmitiu força, carinho, amor e emoções para ultrapassar as dificuldades diárias.

Ao meu orientador Professora Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, pelos seus conselhos, motivação, determinação, amizade e disponibilidade que sempre demonstrou, foram essenciais à concretização deste trabalho.

Ao corpo docente do curso de mestrado, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Dr. António Edmundo Freire Ribeiro, Presidente da Câmara Municipal de Figueira de Castelo Rodrigo, pela motivação e compreensão durante estes últimos 3 anos.

Ao amigo Nuno Pimenta, que com o seu companheirismo, compreensão, amizade e camaradagem, pela sua motivação, pela sua disponibilidade, ajudaram a superar os momentos difíceis e ultrapassar as adversidades nas inúmeras tentativas de aplicação do modelo de simulação da qualidade da água QUAL2Kw.

Aos amigos do curso de mestrado, Cristina, Maria, Sónia e Miguel e Norberto pelo seu companheirismo, pela sua amizade, pela sua motivação, pela sua disponibilidade, pois um curso de mestrado não se resume apenas a um trabalho final.

Ao meu Co-Orientador Professora Ana Maria dos Santos Ferreira pelo seu ensinamento, sugestões e considerações durante o decorrer do curso de mestrado.

À Professora Doutora Margarida Antunes, pela ajuda, pela dedicação e alegria em cada campanha de recolha de amostras realizada, à Professora Cátia Madeira pela motivação transmitida e empenhamento na revisão gramatical deste trabalho.

Ao Professor Greg Pelletier, pela prontidão de resposta, sugestões e ajuda na verificação e calibração do modelo QUAL2Kw.

Ao Eng.º Nelson do Laboratório LRTM pela sua boa disposição, valentia e trabalho em cada campanha de recolha de amostras efectuada.

À empresa Águas do Centro cuja colaboração tornou este trabalho possível.

A todos aqueles, que notaram a minha ausência ou indisponibilidade em muitos momentos das suas vidas, durante estes últimos três anos.

Palavras chave: Rio Ocreza; Rio Ramalhão; Estação de Tratamento de Águas Residuais; Modelo Matemático de Simulação de Qualidade da Água; QUAL2Kw.

Resumo

O rio Ocreza, é um rio português com nascente na serra da Gardunha, no centro de Portugal, a uma altitude de 1160m e foz a 80km de distância, no rio Tejo.

No percurso do rio, existem diversos afluentes, algumas praias fluviais e barragens que são utilizadas para actividades de recreio. O impacte das descargas das estações de tratamento de águas residuais, têm por essa razão que ser controladas, pois é crucial para a saúde das populações que utilizam essa água sem qualquer tratamento, quer nas suas actividades de recreio, quer na agricultura.

Este trabalho centra-se nas descargas da ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais - de Póvoa de Rio de Moinhos e de Cafede, realizadas no rio Ramalhão, afluente do rio Ocreza.

Foram recolhidas 12 amostras, georreferenciadas, na linha de água, entre o ponto de controlo a montante da ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos e a confluência com o rio Ocreza.

O primeiro ponto foi localizado a montante da primeira descarga pontual de efluente na linha de água (ETAR), o segundo ponto na caixa de descarga da ETAR e os restantes pontos foram distribuídos, dentro do possível, de forma equidistante pelo restante troço do rio, com excepção do sexto ponto excepção, que foi localizado na caixa da ETAR de Cafede.

As campanhas de amostragem foram realizadas durante três épocas distintas ao longo do ano hidrológico de 2009/2010. A primeira campanha foi efectuada em Janeiro (estação chuvosa), a segunda campanha em Abril (estação temperada) e a terceira campanha em Junho de 2010 (estação seca).

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos e microbiológicos: CBO_5 - Carência Bioquímica de Oxigénio, aos cinco dias; OD - Oxigénio Dissolvido; resíduo seco; P_{total} ; N_{total} ; pH, Condutividade e Coliformes fecais.

Foi ainda realizada uma simulação para a qualidade da água. O modelo matemático foi construído recorrendo ao programa QUAL2Kw. Os resultados da simulação são consistentes, tendo em consideração os valores observados na amostragem, demonstrando que o modelo foi correctamente calibrado, podendo com isso, traçar diferentes cenários de poluição e de tratamento, bem como introduzir as medidas necessárias à correcção dos parâmetros de incumprimento para as quais as ETAR demonstraram não ter tratamento adequado.

Keywords: Ocreza River; Wastewater plant discharges; Water Quality model; Numerical simulation, QUAL2Kw.

Abstract

The Ocreza River is a Portuguese river with its source in the Gardunha chain, inner center of Portugal, at 1160 m altitude and stretches for 80 km until it drains into the Tagus River. Along the river there are several creeks and tributaries with same river beaches and lakes that are used for recreational activities. The impact of the discharges from the several wastewaters treatment plants on water quality must be monitored and controlled, because of its crucial role on local communities' health.

This paper focus on Póvoa and Cafede's wastewaters treatment plants discharges into Ramalhoso River, a tributary of the Ocreza River. Twelve water samples were collected between the wastewaters treatment plant discharge and the Ocreza River confluence, and were georeferenced. The first point is located upstream to the discharge point, the second one in the discharge point and all the other samples are located downstream of secondary inflows at approximately equal distances. Sampling campaigns were conducted during three different hydrological periods in 2010: rainy winter (January), intermediate conditions (March) and dry season (June). For all campaigns and sampled points a field flow measurement was done. The following chemical parameters were also analyzed: (BOD) biochemical oxygen demand, (DO) dissolved oxygen concentration, dry residue, P_{total} , N_{total} ; pH, temperature and microbiological parameters. The dissolved oxygen concentration (DO), biochemical oxygen demand, for 5 days (BOD_5) and the microbiological parameters were used as indicators for the presence of organic matter in the body of the water, and as parameters for evaluating the environmental pollution.

A coupled hydrodynamic and water dispersion model was used to simulate the pollution in the Ocreza River due to sewage effluent. The QUAL2kw software was used to construct a water quality model. The simulation results are consistent with field observations and demonstrate that the model has been correctly calibrated. The model is suitable for evaluating the environmental impact of sewage effluent on Ocreza River from the wastewaters treatment plant inflows, allowing feasibility studies of different treatment schemes and the development of specific monitoring activities.

Índice geral

1.	Introdução	1
1.1	- Enquadramento	1
1.2	- Objectivo	2
2.	Bacia Hidrográfica.....	3
2.1	- Introdução	3
2.2	- Características geométricas, de relevo e do sistema de drenagem	4
2.3	- Características geológicas e ocupação do solo	10
2.4	- Características climáticas.....	16
2.4.1	- Precipitação.....	21
3.	Qualidade das águas superficiais na Bacia Hidrográfica	25
3.1	- Introdução	25
3.2	- Avaliação da qualidade da água	29
3.2.1	- Parâmetros organolépticos	30
3.2.2	- Parâmetros físico-químicos.....	31
3.2.3	- Parâmetros microbiológicos.....	33
3.2.4	- Parâmetros biológicos	34
3.4	- Capacidade de autodepuração	35
3.5	- Monitorização da qualidade da água	37
3.5.1	- Área de estudo	38
3.5.2	- Caracterização dos pontos de amostragem.....	40
3.5.3	- Descrição das ETAR	48
3.5.4	- Amostragem	50
3.5.5	- Parâmetros de qualidade da água.....	51
3.5.6	- Características da qualidade da água para fins múltiplos	52
3.5.7	- Resultados	54
3.5.8	- Determinação expedita do caudal em vários segmentos da linha de água	58
4.	Modelação matemática.....	63
4.1	- Objectivos	63
4.2	- Escolha do modelo matemático.....	63
4.3	- Modelação matemática - breve estado da arte	65
4.4	- Descrição do modelo.....	66
4.4.1	- Segmentação.....	66
4.4.2	- Balanço de massa	67
4.4.3	- Características hidráulicas	69
4.4.4	- Tempo de passagem	70

4.4.5 - Dispersão longitudinal.....	71
4.4.6 - Constituintes do modelo	71
4.4.7 - Reacções fundamentais	74
4.4.8 - Reacções estequiométricas	75
4.5 - Efeito da temperatura.....	76
4.6 - Descrição do sistema modelado	76
4.7 - Calibração do modelo	77
4.8 - Configuração do modelo	80
4.8.1 - Parâmetros do modelo	81
4.9 - Discussão dos resultados	84
4.9.1 - Limitações na calibração	94
4.10 - Conclusões	95
4.11 - Sugestões para trabalho futuro.....	96
5. Bibliografia	97

Índice de figuras

Figura 2.1 - Ciclo da água.....	3
Figura 2.2 - Esquema de uma bacia hidrográfica com o seu divisor topográfico e freático - corte transversal tipo.....	5
Figura 2.3 - Carta de elevação da bacia hidrográfica do rio Ramalhão	5
Figura 2.4 - Esquema de uma TIN	6
Figura 2.5 - Enquadramento geográfico da bacia do rio Ramalhão.....	6
Figura 2.6 - Carta hipsométrica da bacia do Ramalhão.....	8
Figura 2.7 - Classificação das linhas de água, segundo a ordem de Strahler.....	9
Figura 2.8 - Constituição da camada superficial de um solo arável.....	11
Figura 2.9 - Esquema Tectono-Estratigráfico do Maciço Hespérico	12
Figura 2.10 - Carta litológica de Portugal continental, com referência à bacia do Ramalhão	13
Figura 2.11 - Carta geológica de Portugal continental com referência à bacia do Ramalhão	14
Figura 2.12 - Carta geológica da bacia do Ramalhão	15
Figura 2.13 - Carta de uso do solo da bacia do Ramalhão	16
Figura 2.14 - Carta de clima de Portugal continental segundo a classificação de <i>Koppen</i>	17
Figura 2.15 - Carta de temperatura média anual de Portugal continental	18
Figura 2.16 - Carta de precipitação acumulada anual de Portugal continental.....	18
Figura 2.17 - Precipitação média anual acumulada na bacia do Ramalhão (mm)	19
Figura 2.18 - Temperatura média anual acumulada na bacia do Ramalhão (mm)	20
Figura 2.19 - Variação média da temperatura mensal e da precipitação mensal no ano hidrológico 2009/2010 na bacia do Rio Ramalhão.....	20
Figura 2.20 - Identificação da estação meteorológica do Ladoeiro assinalada com uma seta, dados de precipitação mensal em (mm).....	22
Figura 2.21 - Identificação da estação meteorológica de Abrantes assinalada com círculo a vermelho (temperatura média mensal °C).....	23
Figura 3.1 - Distribuição da água na Terra	26

Figura 3.2 - Indicador de Stress hídrico mundial	28
Figura 3.3 - Processo de autodepuração de uma linha de água que receba descarga de águas residuais	36
Figura 3.4 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Ramalhão.....	38
Figura 3.5 - Barragem do Pisco.....	39
Figura 3.6 - Localização dos pontos de amostragem na bacia do Rio Ramalhão	40
Figura 3.7 - Ponto P2 - 1ª campanha de recolha.....	42
Figura 3.8 - Ponto P2 - 1ª campanha de recolha.....	42
Figura 3.9 - Ponto P3 - 1ª campanha de recolha.....	43
Figura 3.10 - Ponto P4 - 1ª campanha de recolha.....	43
Figura 3.11 - Ponto P5 - 1ª campanha de recolha.....	43
Figura 3.12 - Ponto P6 - 1ª campanha de recolha.....	43
Figura 3.13 - Ponto P7 - 1ª campanha de recolha.....	43
Figura 3.14 - Ponto P8 - 1ª campanha de recolha.....	43
Figura 3.15 - Ponto P9 - 1ª campanha de recolha.....	44
Figura 3.16 - Ponto P10 - 1ª campanha de recolha.....	44
Figura 3.17 - Ponto P12 - 1ª campanha de recolha.....	44
Figura 3.18 - Medidor de multiparámetros com GPS.....	44
Figura 3.19 - Ponto P1 - 2ª campanha de recolha.....	44
Figura 3.20 - Ponto P2 - 2ª campanha de recolha.....	44
Figura 3.21 - Ponto P3 - 2ª campanha de recolha.....	45
Figura 3.22 - Ponto P4 - 2ª campanha de recolha.....	45
Figura 3.23 - Ponto P5 - 2ª campanha de recolha.....	45
Figura 3.24 - Ponto P6 - 2ª campanha de recolha.....	45
Figura 3.25 - Ponto P7 - 2ª campanha de recolha.....	45
Figura 3.26 - Ponto P8 - 2ª campanha de recolha.....	45
Figura 3.27 - Ponto P9 - 2ª campanha de recolha.....	46
Figura 3.28 - Ponto P11 - 2ª campanha de recolha.....	46
Figura 3.29 - Ponto P12 - 2ª campanha de recolha.....	46
Figura 3.30 - Ponto P1 - 3ª campanha de recolha.....	46
Figura 3.31 - Ponto P2 - 3ª campanha de recolha.....	46

Figura 3.32 - Ponto P3 - 3ª campanha de recolha.....	46
Figura 3.33 - Ponto P4 - 3ª campanha de recolha.....	47
Figura 3.34 - Ponto P5 - 3ª campanha de recolha.....	47
Figura 3.35 - Ponto P6 - 3ª campanha de recolha.....	47
Figura 3.36 - Ponto P7 - 3ª campanha de recolha.....	47
Figura 3.37 - Ponto P8 - 3ª campanha de recolha.....	47
Figura 3.38 - Ponto P9 - 3ª campanha de recolha.....	47
Figura 3.39 - Ponto P10 - 3ª campanha de recolha.....	48
Figura 3.40 - Ponto P11 - 3ª campanha de recolha.....	48
Figura 3.41 - Ponto P12 - 3ª campanha de recolha.....	48
Figura 3.42 - Modelo de tratamento da ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos	49
Figura 3.43 - Modelo de tratamento da ETAR de Cafede.....	49
Figura 3.44 - Limites de qualidade de cursos de água superficiais	53
Figura 3.45 - Contribuições pontuais de caudal de sub-bacias do rio Ramalhos	60
Figura 4.1 - Esquema de segmentação da linha de água sem afluentes	67
Figura 4.2 - Balanço de massa no ponto de mistura	67
Figura 4.3 - Representação esquemática da carga distribuída	68
Figura 4.4 - Canal trapezoidal	69
Figura 4.5 - Balanço de massa	72
Figura 4.6 - Modelo cinético e processo de transferência de massa. <i>Processos cinéticos são: dissolução (ds), hidrólise (h), oxidação (x), nitrificação (n), desnitrificação (dn), fotossíntese (p), morte (d), e respiração/excreção. Processos de transferência de massa: rearejamento (re), sedimentação (s), carência de oxigénio dos sedimentos (COS), permuta nos sedimentos (se) e fluxo de carbono inorgânico nos sedimentos (cf). O subscrito x para as conversões estequiométricas é relativo à clorofila-a (a) e peso seco (d) para o fitoplâncton e algas do fundo, respectivamente.....</i>	73
Figura 4.7 - Segmentação do rio Ramalhos com identificação das entradas pontuais	77
Figura 4.8 - Progressão do teste ao CBOD para vários níveis de taxa de decomposição	80
Figura 4.9 - Resultados da calibração de caudal do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	84
Figura 4.10 - Resultados da calibração de caudal do rio Ramalhos (Abril 2010).....	84

Figura 4.11 - Resultados da calibração de caudal do rio Ramalhos (Junho 2010).....	84
Figura 4.12 - Resultados da calibração de temperatura da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	85
Figura 4.13 - Resultados da calibração de temperatura da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	85
Figura 4.14 - Resultados da calibração de temperatura da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	85
Figura 4.15 - Resultados da calibração de condutividade da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	86
Figura 4.16 - Resultados da calibração de condutividade da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	86
Figura 4.17 - Resultados da calibração de condutividade da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	86
Figura 4.18 - Resultados da calibração de sólidos suspensos totais da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	87
Figura 4.19 - Resultados da calibração de sólidos suspensos totais da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	87
Figura 4.20 - Resultados da calibração de sólidos suspensos totais da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	87
Figura 4.21 - Resultados da calibração de oxigénio dissolvido da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	88
Figura 4.22 - Resultados da calibração de oxigénio dissolvido da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	88
Figura 4.23 - Resultados da calibração de oxigénio dissolvido da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	88
Figura 4.24 - Resultados da calibração de CBOC _{lenta} da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	89
Figura 4.25 - Resultados da calibração de CBOC _{lenta} da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	89
Figura 4.26 - Resultados da calibração de CBOC _{lenta} da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	89

Figura 4.27 - Resultados da calibração de CBOC _{rápida} da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	90
Figura 4.28 - Resultados da calibração de CBOC _{rápida} da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	90
Figura 4.29 - Resultados da calibração de CBOC _{rápida} da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	90
Figura 4.30 - Resultados da calibração de CBOD _u da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	91
Figura 4.31 - Resultados da calibração de CBOD _u da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	91
Figura 4.32 - Resultados da calibração de CBOD _u da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	91
Figura 4.33 - Resultados da calibração de pH da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	92
Figura 4.34 - Resultados da calibração de pH da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	92
Figura 4.35 - Resultados da calibração de pH da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	92
Figura 4.36 - Resultados da calibração de coliformes fecais da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010).....	93
Figura 4.37 - Resultados da calibração de coliformes fecais da água do rio Ramalhos (Abril 2010).....	93
Figura 4.38 - Resultados da calibração de coliformes fecais da água do rio Ramalhos (Junho 2010).....	93

Índice de tabelas

Tabela I - Características da bacia, índices e coeficientes.....	8
Tabela II - Lista de estações meteorológicas na área de influência da bacia do Ramalhoso.....	21
Tabela III - Dados da estação meteorológica do Ladoeiro	22
Tabela IV - Dados da estação meteorológica de Abrantes.....	23
Tabela V - Valores da temperatura média mensal no ano hidrológico 2009/2010 (mm).....	24
Tabela VI - Precipitação mensal na estação do Ladoeiro nos últimos cinco anos hidrológicos (mm)	24
Tabela VII - Distribuição da água na Terra	27
Tabela VIII - Identificação dos pontos na primeira campanha de amostragem.....	41
Tabela IX - Identificação dos pontos na segunda campanha de amostragem.....	41
Tabela X - Identificação dos pontos na terceira campanha de amostragem.....	42
Tabela XI - Resultados da 1ª campanha de amostragem.....	51
Tabela XII - Objectivos ambientais da qualidade mínima para águas superficiais.....	54
Tabela XIII - Valores Limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais	54
Tabela XIV - Resultados da 1ª campanha de amostragem.....	55
Tabela XV - Resultados da 1ª campanha de amostragem.....	56
Tabela XVI - Resultados da 2ª campanha de amostragem.....	56
Tabela XVII - Resultados da 2ª campanha de amostragem.....	57
Tabela XVIII - Resultados da 3ª campanha de amostragem.....	57
Tabela XIX - Resultados da 3ª campanha de amostragem.....	58
Tabela XX - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 1, referente às três campanhas.....	60
Tabela XXI - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 2, referente às três campanhas.....	61
Tabela XXII - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 3, referente às três campanhas.....	61
Tabela XXIII - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 4, referente às três campanhas.....	61

Tabela XXIV - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 5, referente às três campanhas.....	61
Tabela XXV - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 6, referente às três campanhas.....	62
Tabela XXVI - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 7, referente às três campanhas.....	62
Tabela XXVII - Coeficientes PIKAIA - QUAL2Kw	78
Tabela XXVIII - Parâmetros de entrada (campanha de Janeiro 2010) para o rio Ramalhos.....	80
Tabela XXIX - Parâmetros de calibração do modelo QUAL2Kw para o rio Ramalhos.....	81
Tabela XXX - Coeficientes de rugosidade de Manning	95

1. Introdução

1.1 - Enquadramento

Na terra a água cai da atmosfera, onde chega principalmente na forma de chuva ou de neve. Ribeiros, rios, lagos, glaciares são grandes vias de escoamento para os oceanos. No seu percurso, a água é retida pelo solo, pela vegetação e pelos animais. Volta à atmosfera principalmente pela evaporação e pela transpiração vegetal. A água é para o homem, para os animais e para as plantas um elemento de primeira necessidade.

Efectivamente, a água constitui dois terços do peso do homem e até nove décimos do peso dos vegetais.

É indispensável ao homem, como bebida e como alimento, para a sua higiene e como fonte de energia, matéria-prima de produção, via de transporte e suporte das actividades recreativas que a vida moderna exige cada vez mais (Carta Europeia da água, 1968).

A água que se encontra na natureza, transporta dissolvidas, ou em suspensão, determinadas partículas que adquiriu ao longo do decurso do seu ciclo, quer ao nível superficial, quer subterrâneo. No entanto, além das substâncias de origem natural, existem outras, que têm a sua origem em produtos resultantes da actividade humana, que são induzidas, quando é utilizada como veículo, para eliminar substâncias indesejadas que lhe chegam directamente, como consequência de descargas nas linhas de água ou, contacto com solos contaminados (Catalan Lafuente *et al*, 1987).

Os primeiros resíduos, com que o homem se confrontou e lhe causaram sérios inconvenientes, foram por ele produzidos, tendo utilizado as linhas de água, como local idóneo para os eliminar (Catalan Lafuente *et al*, 1987).

A poluição é uma alteração da qualidade da água, geralmente provocada pelo homem, que a torna imprópria ou perigosa para o consumo humano, para a indústria, agricultura, pesca e actividades recreativas, para os animais domésticos e para a vida selvagem (Carta Europeia da água, 1968).

O problema associado à poluição começa a fazer-se sentir de forma generalizada logo no início do século XIX, devido à concentração da população em aglomerados urbanos e ao desenvolvimento/crescimento da actividade industrial (Catalan Lafuente *et al*, 1987).

O desenvolvimento industrial, fez com que os problemas da contaminação das águas, tivessem adquirido proporções alarmantes, existindo ainda, nos dias de hoje uma degradação da qualidade de vida, nas zonas onde a poluição da água é mais notória.

A identificação das fontes poluidoras e a caracterização dos seus impactes na qualidade da água de uma bacia hidrográfica são um dos problemas identificados pelas entidades que gerem

os recursos hídricos. Assim, o recurso aos modelos de simulação dinâmica da qualidade da água são, uma ferramenta útil para a sua avaliação, quer se trate de captação ou descarga de uma fonte de poluição pontual ou distribuída (Mendes, 2010).

É possível assim, simular diferentes cenários para a utilização da água, estimar a capacidade de absorção/depuração, definir limites para os valores de descarga poluente ou captação na linha de água, determinando o risco associado à contaminação da água superficial.

É por isso importante na definição de estratégias futuras, tendo por base os parâmetros definidos na legislação em vigor, a simulação de diferentes cenários a que a linha de água pode estar sujeita, no sentido de prevenir, possíveis contaminações (Mendes, 2010).

1.2 - Objectivo

O presente trabalho tem como objectivo, a caracterização hidrológica e a capacidade de autodepuração do Rio Ramalhos pela construção de um modelo matemático, de simulação dinâmica da qualidade da água. As amostras foram realizadas em doze pontos distintos e equidistantes ao longo da sua linha de água, abrangendo três campanhas temporais distintas, correspondendo a diferentes fases do ciclo hidrológico: chuvoso (Janeiro), intermédio (Abril) e seco (Junho). Assim podemos confrontar, a eficiência, tecnológica/tipo de tratamento aplicado, nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Cafede e de Póvoa de Rio de Moinhos, tendo em conta as variações de caudal ao longo do ano hidrológico.

São portanto objectivos deste trabalho:

- Simular a qualidade da água ao longo do percurso e no tempo;
- Analisar os impactes das descargas na linha de água;
- Contribuir para uma eventual reestruturação dos sistemas de tratamento de águas residuais existentes.

2. Bacia Hidrográfica

2.1 - Introdução

O ciclo hidrológico conforme figura 2.1, é o fenómeno global de movimento circular da água em sistema fechado, entre a superfície terrestre e a atmosfera, associada à gravidade e à rotação terrestre, impulsionado pela energia solar e de interesse fundamental, pois modela o terreno, influencia a fauna, a flora, e condiciona o clima. É o elemento fundamental da hidrologia, representando a água em fases distintas e independentes, desde a ocorrência de precipitação até ao seu retorno à atmosfera, sob a forma de vapor.



Figura 2.1 - Ciclo da água (Fonte: Adaptado de <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>).

O Estado Português pela transposição para a ordem jurídica nacional, da Directiva n.º2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro, estabeleceu as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas, ao aprovar a Lei da Água através da Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro. Esta lei define Bacia Hidrográfica como a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem para o mar, através de uma sequência de rios, ribeiros ou eventualmente lagos, desaguando numa única foz, estuário ou delta.

O especialista em hidrologia Lencastre define também bacia hidrográfica como uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de

curtos de água, sendo deste modo todos os caudais efluentes descarregados através de uma única saída (secção de referência) (Lencastre *et al.* 1992).

As bacias hidrográficas são consideradas por vários autores, como excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, na medida em que é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

Neste trabalho, procedeu-se à caracterização geral e ao enquadramento geográfico e geológico da área de estudo, bem como, à delimitação e caracterização da bacia hidrográfica e do ciclo hidrológico nesta região.

Tendo em conta as características gerais das ETAR, localizadas na área de estudo e as principais fontes poluentes identificadas, foram individualizadas e estudadas as principais fontes poluentes associadas e a sua dispersão ao longo do rio Ramalhoso e, conseqüentemente, no rio Ocreza.

Finalmente, foi construído um modelo de simulação dinâmica da qualidade da água, utilizando o software QUAL2Kw, e simulado o impacto produzido, considerando como dados de entrada para a calibração do modelo, as doze recolhas de água realizadas em três campanhas distintas (1ª campanha - Janeiro; 2ª campanha - Abril; 3ª campanha - Junho 2010) de modo a comparar os resultados obtidos com os valores limite admissíveis, patentes na Legislação Nacional em vigor.

2.2 - Características geométricas, de relevo e do sistema de drenagem

Para compreender o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é necessário determinar as suas características fisiográficas, nomeadamente: geometria, relevo, geologia, sistema de drenagem, solos e vegetação (Lencastre *et al.* 1992).

A delimitação de uma bacia hidrográfica conforme exemplificado na figura 2.2, é determinada 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 em cota superior. Quanto maior for a área da bacia em estudo menor é a percentagem da precipitação que se escoia para as bacias adjacentes (Lencastre *et al.* 1992).

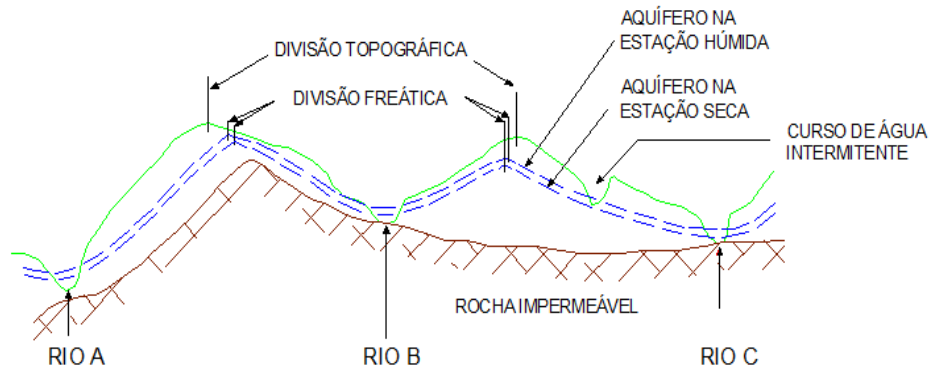


Figura 2.2 - Esquema de uma bacia hidrográfica com o seu divisor topográfico e freático - corte transversal tipo

A aplicação de sistemas de informação geográfica à elaboração de cartografia temática, permite o cruzamento e análise de todo o conjunto de variáveis em estudo. Só a partir desta integração é possível partir para modelos de simulação hidrológica da área, uma vez que a aplicação de um modelo hidrológico à bacia hidrográfica em análise pressupõe diversos *inputs* e *outputs* ao sistema (Faria *et al*, 2005). Tendo por base os critérios anteriormente descritos, foi efectuada a delimitação gráfica da bacia do Rio Ramalhão conforme se pode verificar na figura 2.3. Recorrendo ao *software ArcMap* da ESRI e à ferramenta *3D Analyst Tools*, foi elaborada uma TIN - *Triangulated Irregular Network* (estrutura do tipo vectorial com topologia do tipo “nó-arco” que representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo, são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e ao atributo z, correspondente o valor da elevação ou altitude) como se pode verificar na figura 2.4, que constituiu o suporte de todo o estudo da bacia, utilizando a informação base contida em *Shapefiles* (informação geograficamente referenciada) disponibilizadas pela Agência Portuguesa do Ambiente, no portal internet do Atlas do Ambiente.

Foram tratados dados, tais como, hipsometria, precipitação, declive, elevação, uso do solo entre outros, e posteriormente armazenados os dados em novas *Shapefiles*, contendo apenas a informação refinada, com interesse para o estudo.

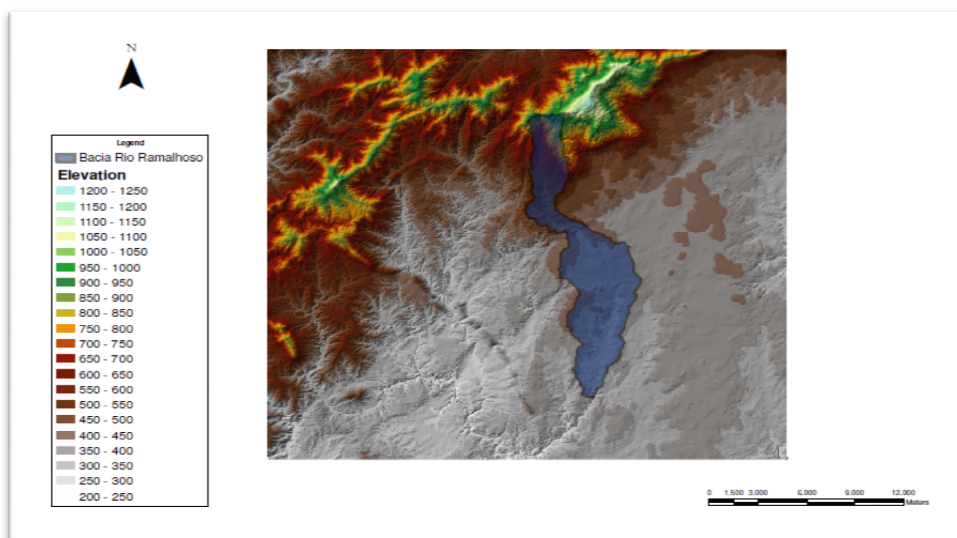


Figura 2.3 - Carta de elevação da bacia hidrográfica do rio Ramalhão (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

Localizado no distrito de Castelo Branco, o rio Ramalhão (também denominado por Ribeira de São Vicente, até ao paredão da Barragem do Pisco e cartografado pelo Instituto Geográfico do Exército, em 1965, como Ribeira da Ribeirinha) nasce no maciço da Serra da Gardunha, acima dos 1 050m. Atravessa a encosta sul do maciço da Serra dos Patrícios, em zona de colinas arredondadas, com relevo acidentado até à freguesia de São Vicente da Beira, onde forma a barragem do Pisco. Continua em percurso acidentado até à freguesia de Póvoa de Rio de Moinhos, entrando depois em cotas abaixo dos 550m, a que correspondem aproximadamente 2/3 da área da bacia, num relevo mais plano e menos acidentado até à foz. Esta encontra-se localizada na margem direita do Rio Ocreza, no lugar de Azenha de entre Ribeiras, a uma cota de 330m, como pode ser observado nas figuras 2.5 e 2.6, fazendo parte da grande bacia hidrográfica do rio Ocreza, integrada na grande bacia hidrográfica do rio Tejo.

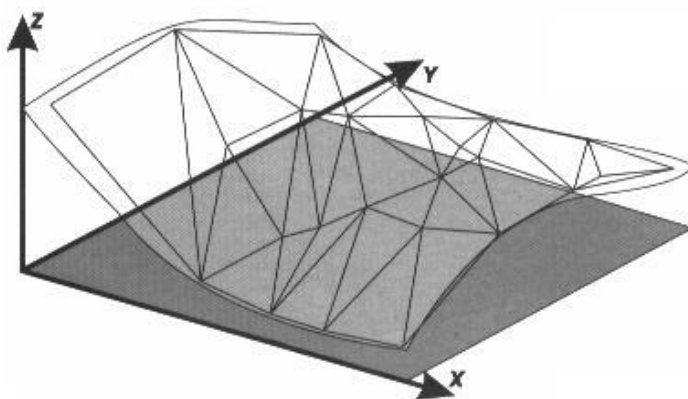


Figura 2.4 - Esquema de uma TIN (Fonte: www.devmedia.com.br; Silva, 2004).

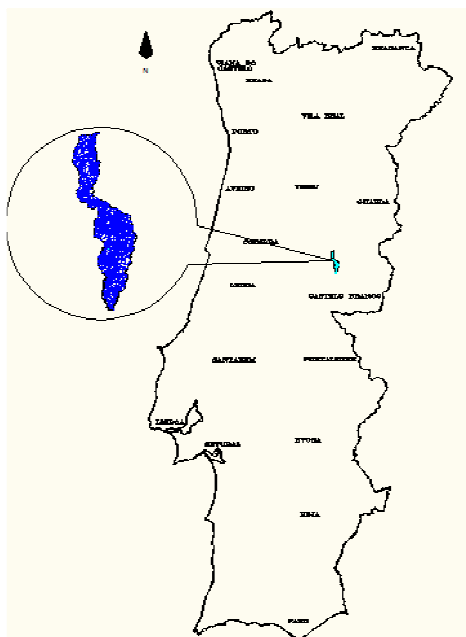


Figura 2.5 - Enquadramento geográfico da bacia do rio Ramalhão.

A orientação geral da bacia do Rio Ramalhos segue, aproximadamente a bacia do Rio Ocreza até à sua confluência, ou seja Norte-Sul. Passando depois a bacia do Rio Ocreza a ter a orientação Norte -Sudoeste. Poderá afirmar-se que o ponto de intersecção com o Rio Ramalhos é o ponto de inflexão da bacia do Ocreza, de sul para sudoeste. A altitude média da bacia é de 537m e está localizada geograficamente no hemisfério norte, à latitude 40.033°N e longitude - 7.5667°W.

A forma geométrica da bacia foi estabelecida com a determinação do factor de forma (K_f) e do coeficiente de compacidade ou índice de *Gravelius* (K_c). Este último define que independentemente do tamanho da bacia, quanto mais irregular for a bacia, maior será o índice e mais se afastará da forma circular (igual à unidade), traduzido na seguinte expressão:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1.0)$$

Em que: P - perímetro da bacia hidrográfica (km) e A - área da bacia hidrográfica (km²)

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (1.1)$$

Em que: A - área da bacia hidrográfica (km²) e L - comprimento da maior linha de água desde a cabeceira até à secção de referência (km).

A topografia de uma bacia hidrográfica é de extrema importância uma vez que muitas das grandezas utilizadas em trabalhos de hidráulica são influenciadas pelas características topográficas da bacia. Neste caso importa determinar o declive médio da bacia (I_b), o coeficiente de massividade (C_m), traduzido em valores elevados para bacias pequenas que apresentem grandes desníveis, e valores baixos em grandes bacias de topografia pouco acentuada e o coeficiente orográfico (C_o) que combina a altura média, influente sobre a energia potencial da água com o seu declive, influente no escoamento superficial.

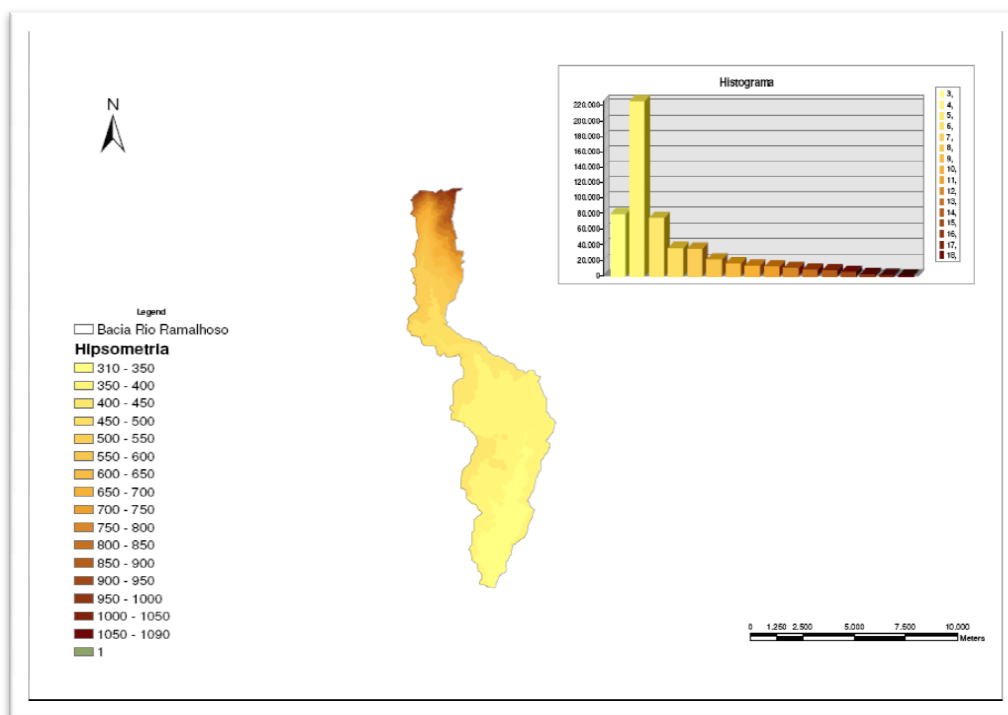


Figura 2.6 - Carta hipsométrica da bacia do Ramalho (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

Analisando os índices de forma e coeficientes de relevo, poderá classificar-se a bacia do Ramalho como alongada em termos de forma e de relevo acentuado.

Tabela I - Características da bacia, índices e coeficientes

Bacia Rio Ramalho - Caracterização				
K_c	K_f	I_b	C_m	C_o
2,0	0,1	29,5	2,93	470,81

Os sistemas naturais capazes de drenar a água superficial proveniente da precipitação, ligados entre si, dentro da bacia hidrográfica compõem a rede de drenagem. Estes, atendendo às suas características, poderão ser classificados como:

- Efémeros - apresentam apenas escoamento durante ou após períodos de precipitação e transportam apenas escoamento superficial. O nível freático encontra-se sempre num nível inferior ao curso de água, não existindo a possibilidade de escoamento superficial;
- Intermitentes - apresentam escoamento durante as estações húmidas; durante a época de chuva, transportam os caudais superficiais e subterrâneos, atendendo que o nível freático se conserva acima da cota do leito do curso de água. Assim que o nível freático desce abaixo do leito do curso de água, deixa de haver escoamento, voltando a existir imediatamente, após grandes períodos de precipitação;

- Perenes - apresentam escoamento de água durante todo o ano; o lençol freático subterrâneo mantém uma alimentação contínua e nunca desce abaixo da cota do leito do curso de água.

A rede resultante da interligação entre os sistemas de drenagem é ainda classificada segundo uma ordem, sendo considerados de primeira ordem, os sistemas iniciais que não tenham afluentes, de segunda ordem quando existe a união de dois sistemas de primeira ordem e de terceira ordem, quando existe a união de dois sistemas de segunda ordem e assim sucessivamente /ordenadamente. Quando existe a união de sistemas de ordem n com sistemas de ordem $n+1$, o sistema é classificado com a maior ordem, ou seja $n+1$, segundo critério definido por Horton *et al* (1945) e modificado por Strahler *et al* (1952; 1957).

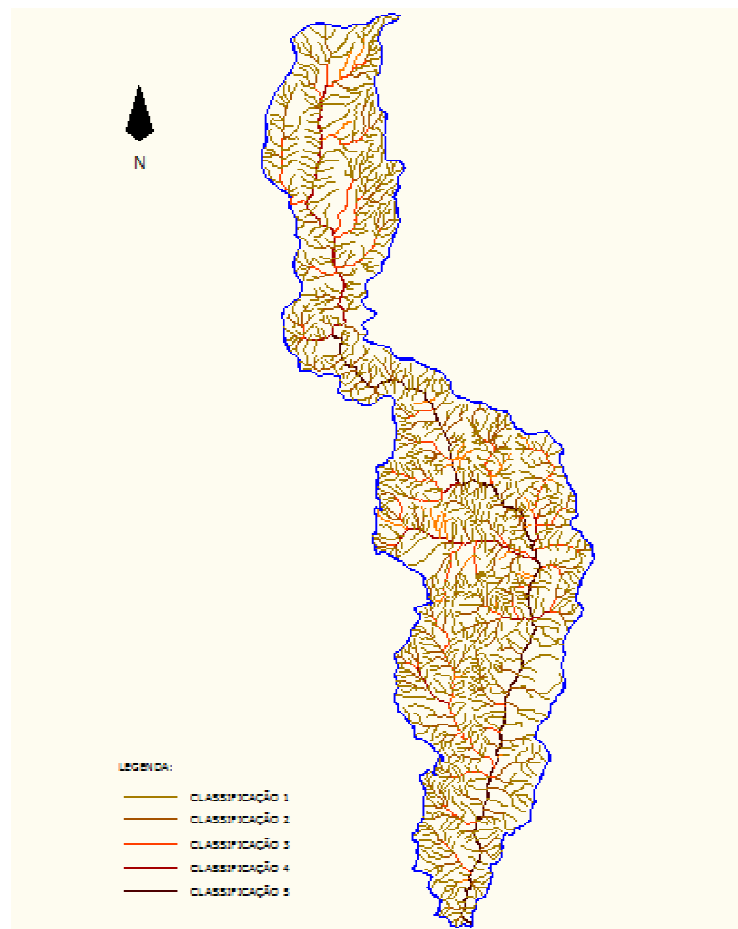


Figura 2.7 - Classificação das linhas de água, segundo a ordem de Strahl.

No que respeita à densidade de drenagem, a variação é directamente relacionada com a extensão do escoamento superficial e fornecendo a indicação da eficiência da drenagem natural da bacia, sendo também indicador da tendência para a ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica. Bacias com maior densidade de drenagem estão mais sujeitas a cheias do que as bacias com menor densidade de drenagem.

A rede hidrográfica da bacia do Ramalhos pode dividir-se em duas zonas distintas. A margem direita, caracterizada por pequenos afluentes com fraca ordem de classificação e pela fraca densidade de drenagem, atendendo ao fraco declive longitudinal dos cursos de água. A margem esquerda, com afluentes de elevada ordem e de elevada densidade de drenagem, escoia aproximadamente 58% da área da bacia, conforme figura 2.7.

2.3 - Características geológicas e ocupação do solo

A camada superficial da Terra é o solo, na qual se distingue a parte cultivável ou não, solo propriamente dito, que é removido pelas alfaias agrícolas nas terras cultivadas, e a parte subjacente ou subsolo, que se distingue daquele pela cor e estado físico.

O solo é constituído por três elementos minerais essenciais; areia, argila, calcário e os componentes orgânicos ou matéria viva, constituindo os primeiros três, o esqueleto em que a parte orgânica é mantida e continuamente transformada, conforme figura 2.8.

A areia é o elemento mais importante sob o ponto de vista quantitativo, não retém os nutrientes minerais, nem a água. Facilita os trabalhos de mobilização do solo, o seu arejamento, a penetração das raízes, contribui para dar textura ao solo e porosidade para manter separados os elementos finos.

A argila é um conjunto de filossilicatos de alumínio hidratados, parte dos quais, sob a forma coloidal, que se encontram misturados com o óxido de ferro. Retêm com facilidade os nutrientes e a água. Quando existem em grande quantidade, impedem a infiltração da água e o arejamento, tornando o solo plástico. Coagulam pela acção dos sais de potássio aglomerando, em pequenos fragmentos, os elementos arenosos, permitindo permeabilização do solo.

O calcário encontra-se sob a forma de carbonato de cálcio e desempenha uma função importante nas características do solo, pela possibilidade de modificar as propriedades físicas dos terrenos demasiado argilosos.

À matéria orgânica corresponde o húmus, que é formado principalmente por detritos vegetais em decomposição, nitratos, anidrido carbónico e água, e retém grande número de substâncias fertilizantes, facilmente arrastadas pela água. Congrega os elementos arenosos e modifica a plasticidade das argilas.

A parte mineral do solo resulta da decomposição ou divisão das rochas que formam a crosta terrestre, pela acção de causas naturais ou pela intervenção do humano.

Algumas das características físicas fundamentais dos solos são a textura, permeabilidade, coesão ou tenacidade, higroscopicidade, exsicação e aquecimento ou irradiação.

O solo serve de suporte à vida humana e directa ou indirectamente, fornece-lhe os alimentos e muitas das matérias-primas essenciais.

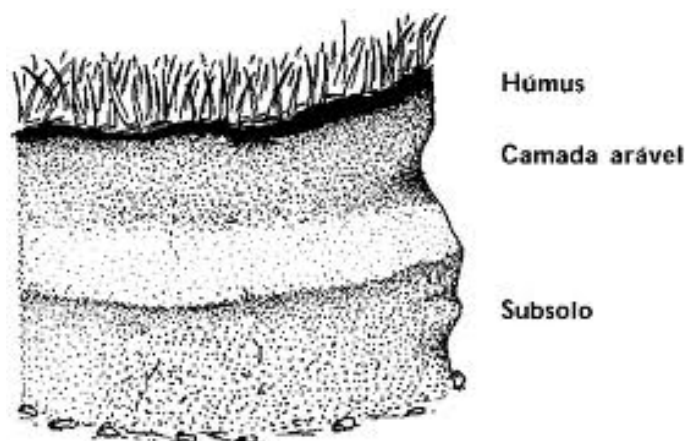


Figura 2.8 - Constituição da camada superficial de um solo arável (Fonte: www.fao.org, 2011).

Os conceitos de ocupação do solo e uso do solo são por vezes confundidos ou considerados iguais, o que em determinadas situações, origina problemas de interpretação cartográfica.

O conceito de ocupação do solo está relacionado directamente com a descrição do solo, ou seja, corresponde à constituição da cobertura física do solo (ou inclusivamente à ausência dela), nomeadamente edifícios, vias de comunicação, árvores, etc. (Di Gregorio *et al.*, 1997).

Relativamente ao conceito do uso do solo, está ligado à descrição funcional do espaço de acordo com o propósito socioeconómico deste, levando assim, a uma distinção entre coberturas semelhantes, cuja utilização possa ser diferente (Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011).

A distribuição da água dentro de uma bacia, nomeadamente o escoamento superficial e a infiltração estão directamente relacionados com a sua constituição geológica e tipo de ocupação do solo.

Na presença de floresta densa, ao ser eliminado o contacto directo das gotas de água da chuva com a superfície do terreno, verifica-se um aumento da recarga dos lençóis freáticos por infiltração subterrânea lenta, diminuindo assim a velocidade de escoamento superficial e consequente ocorrência de cheias e erosão dos solos (Lencastre *et al.*, 1992).

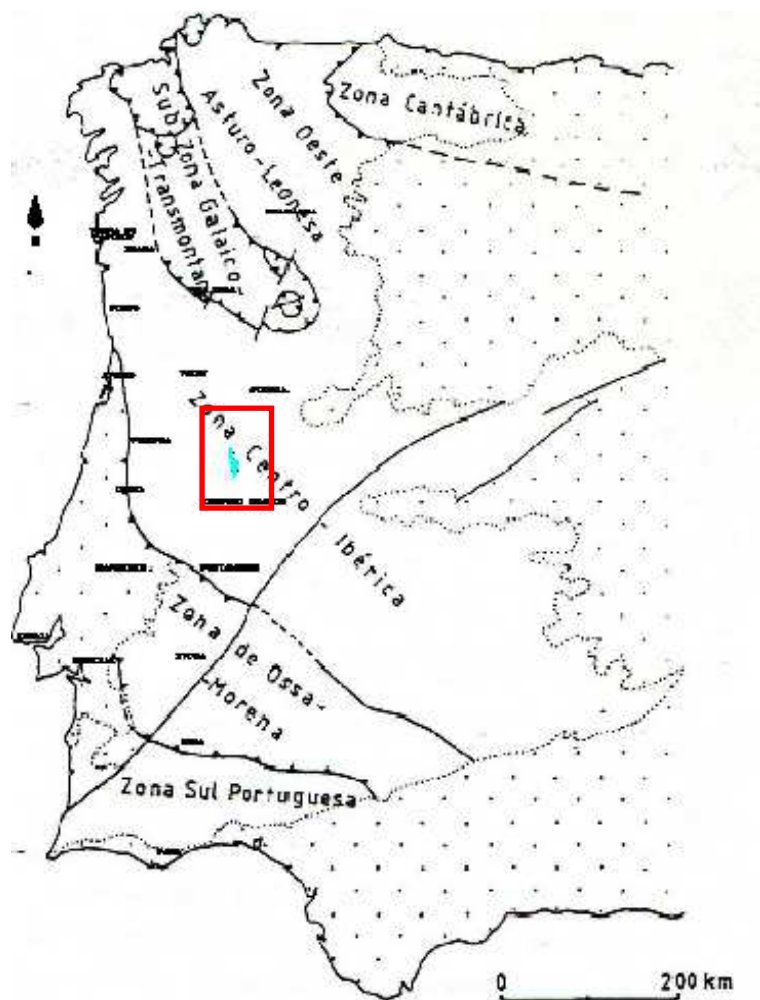


Figura 2.9 - Esquema Tectono-Estratigráfico do Maciço Hespérico (Fonte: Adaptado da Carta Geológica de Portugal com identificação da bacia do Rio Ramalhos).

A bacia do Ramalhos, em termos de carta de unidades estruturais, está localizada na Zona Centro-Ibérica, conforme se pode verificar na figura 2.9, a qual ocupa uma extensa área da Península Ibérica, cujas características mais marcantes são a presença de rochas eruptivas plutónicas (granitos e ortognaisses) e a presença também de rochas sedimentares e metamórficas (xistos) na parte noroeste da bacia, de acordo com a figura 2.10.

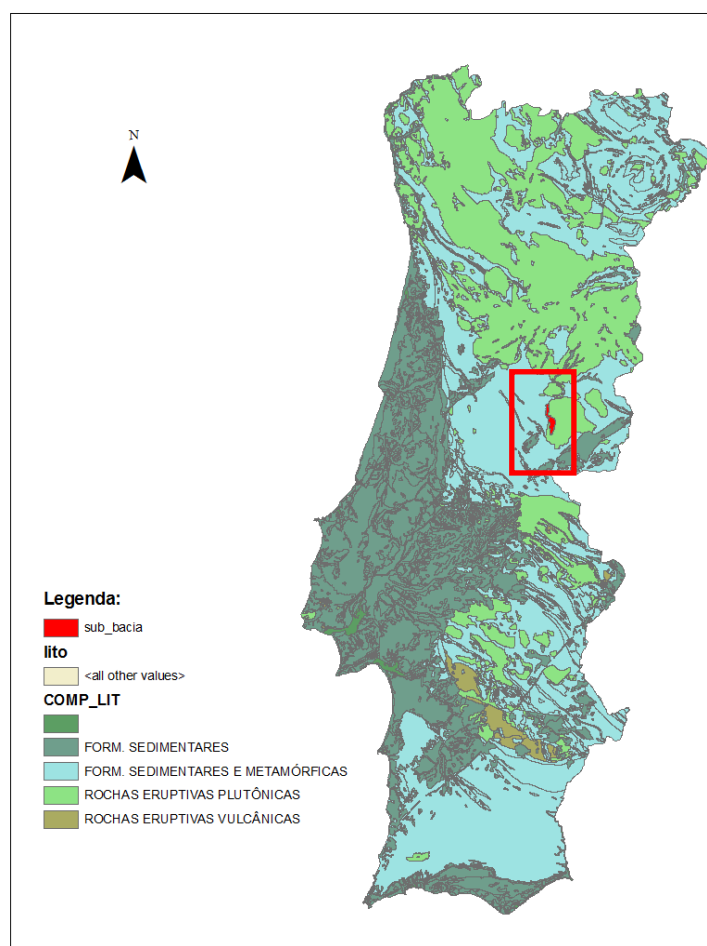


Figura 2.10 - Carta litológica de Portugal continental, com referência à bacia do Ramalhão (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

De acordo com a caracterização da FAO - *Food and Agriculture Organization* para a carta de solos europeia verifica-se que, a bacia do Ramalhão, conforme se verifica na figura 2.11 e 2.12, é composta quase na sua totalidade por:

- Cambissolos dístricos (de origem granítica) que surgem na quase totalidade da bacia, preferencialmente nas zonas de cotas mais baixas e são caracterizados por serem solos pobres em matéria orgânica, compostos por areia grosseira com pequenos calhaus. Por vezes, existem blocos de maiores dimensões (10 a 20 cm), remobilizados, com alteração avançada;
- Litossolos êutricos (derivados de xistos e quartzitos) caracterizados por serem solos incipientes. Apresentam uma profundidade muito reduzida, nenhuma diferenciação do perfil, sem a presença de horizontes orgânicos ou de qualquer vestígio de processos dinâmicos ao longo do perfil. O seu pH é superior a 5,5 não existindo carbonatos no perfil;

- Cambissolos húmicos, na zona de cabeceira da bacia, caracterizados por serem de origem xistosa, com pouca matéria orgânica superficial, mas com maior profundidade que os anteriores.

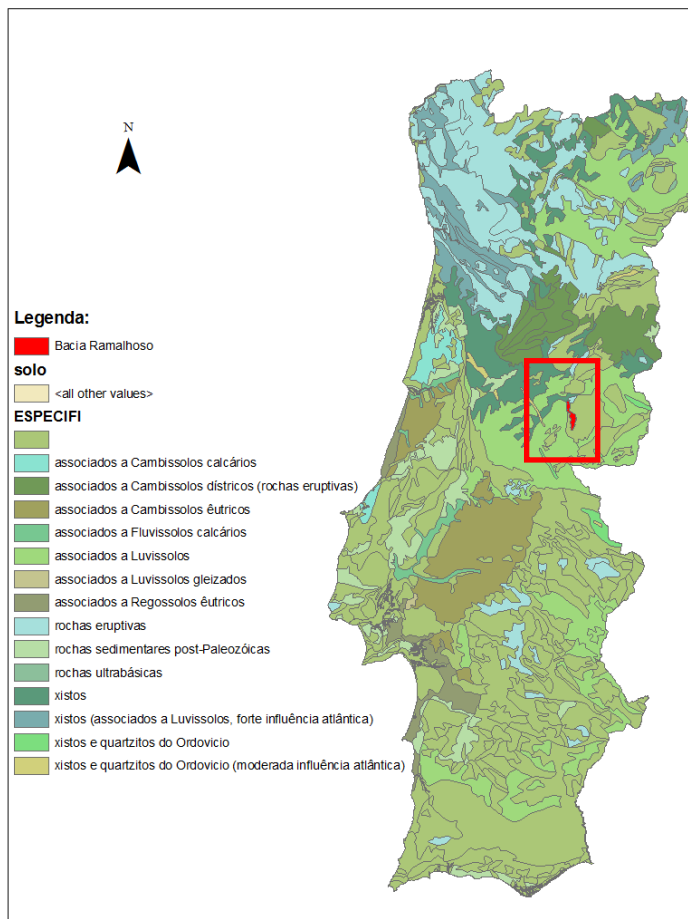


Figura 2.11 - Carta geológica de Portugal continental com referência à bacia do Ramalhoso (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

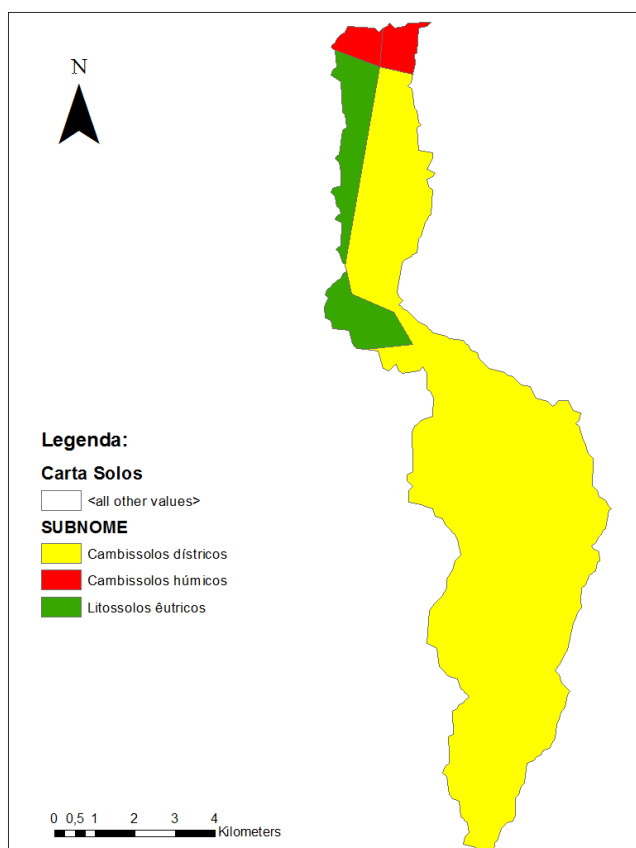


Figura 2.12 - Carta de solos da bacia do Ramalhoso (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

Quanto ao uso do solo, na bacia do Ramalhoso, de acordo com a figura 2.13, podem ser definidos quatro tipos distintos de uso, que facilmente são associados quer à altitude, ao relevo da bacia, à dificuldade de acesso, às condicionantes legais e à presença de populações rurais.

Foi assim atribuída, pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente) a seguinte classificação:

- Não agrícola (florestal) - áreas localizadas ao longo das margens do Ramalhoso e dos afluentes de maior contribuição;
- Agrícola condicionada - área localizada na zona de protecção a montante da barragem do Pisco;
- Agrícola - áreas localizadas dentro do perímetro das freguesias de São Vicente da Beira, Ninho do Açor, Sobral do Campo; Tinalhas; Póvoa de Rio de Moinhos e Cafede;
- Complexos - área localizada principalmente na divisão topográfica a Este com a bacia do Rio Ocreza e na divisão topográfica a Oeste com a bacia do Ribeiro do Vale Sando.

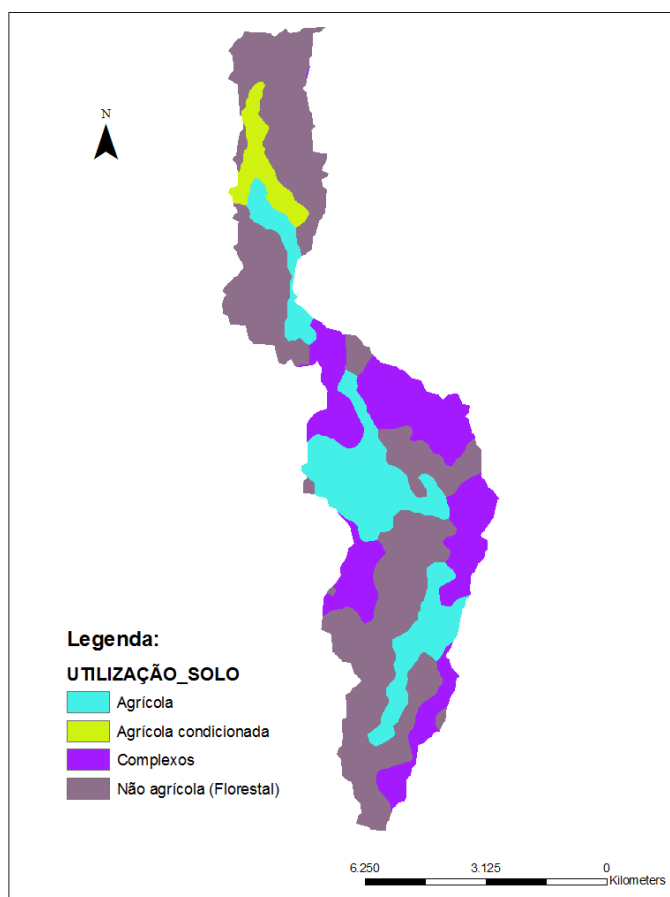


Figura 2.13 - Carta de uso do solo da bacia do Ramalhoso (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

2.4 - Características climáticas

De acordo com o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011*), clima é, em sentido restrito, definido como '*tempo meteorológico médio*', ou como descrição estatística de quantidades relevantes de mudanças do tempo meteorológico num período de tempo, na duração de meses a milhões de anos. O período clássico ronda os 30 anos, definido pela WMO - *World Meteorological Organization*. É o factor natural que mais contribui para a formação das paisagens, modelação de vertentes, pelo caudal dos rios, pelo tipo de vegetação natural e pela agricultura.

Portugal continental, está localizado geograficamente, no hemisfério norte, entre as latitudes 37 e 42°N e as longitudes de 06 e 10°W. A sua influência climática traduz-se pelo facto de se localizar a norte de um deserto Africano e no extremo oeste de uma península. O território de Portugal continental está situado numa zona subtropical, que se estende aproximadamente 860 Km do Norte para o Sul, que é de transição e separa os ventos com componente oeste, a norte, dos ventos com componente leste, a Sul.

Segundo Wladimir Köppen (1846-1940) e Rudolf Geiger (1894-1981), o clima da Terra está organizado em cinco classes: clima tropical húmido; clima seco; clima temperado com inverno suave; clima temperado com inverno rigoroso e clima polar.

O factor relevo, determina que a intensidade e a duração com que os fenómenos atingem as regiões do interior sejam diferentes, quando comparadas com as zonas litorais, devido à influência que tem sobre a camada inferior da atmosfera, com uma espessura de apenas 15km. Nesta camada, os primeiros 5km da atmosfera contêm cerca de 90% de todo o vapor de água nela existente (Lencastre *et al.*, 1992).

A dividir estas duas regiões encontra-se um grande sistema montanhoso (Sintra - Montejunto - Estrela), orientado na direcção SW-NE, conforme se verifica na figura 2.14. Este sistema tem uma grande importância na distribuição dos elementos climáticos ao longo do território, porque a grande maioria da precipitação que afecta Portugal continental ocorre vinda de NW. O sistema montanhoso referido torna-se um obstáculo ao seu natural deslocamento para sul e, com isso verifica-se a diminuição de precipitação ocorrida a sul e a divisão do país em duas regiões climáticas: uma de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente (Csa) e outra de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb).

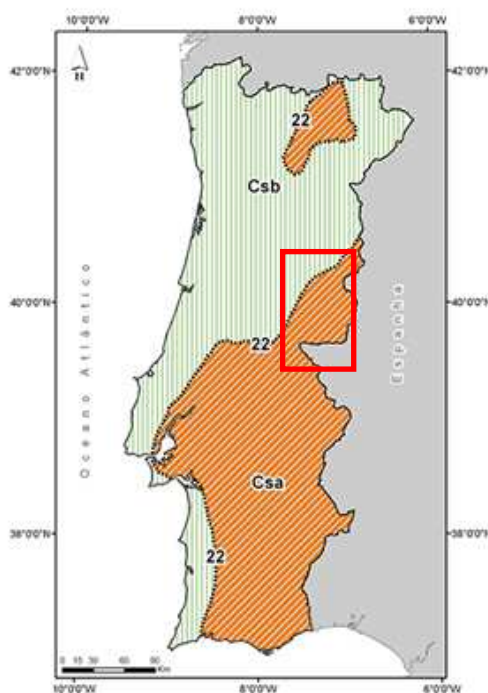


Figura 2.14 - Carta de clima de Portugal continental segundo a classificação de Köppen (Fonte: www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo7/clima/cportugal).

Em Portugal continental, da análise espacial baseada nas normais climatológicas de 1961/90 verifica-se que a temperatura média anual varia entre cerca de 7°C nas terras altas do interior norte e centro e cerca de 18°C no litoral sul, de acordo com a figura 2.15. Com base nos mesmos dados revela-se que a precipitação média anual tem os valores mais altos no Minho e Douro Litoral e os valores mais baixos no interior do Baixo Alentejo, tendo em conta a figura 2.16.

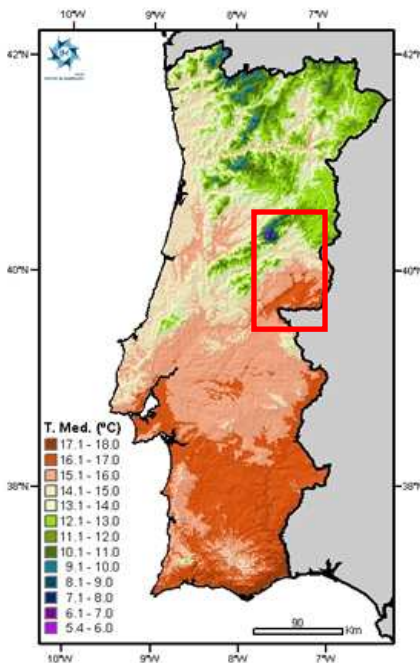


Figura 2.15 - Carta de temperatura média anual de Portugal continental (Fonte: www.meteo.pt, 2011).

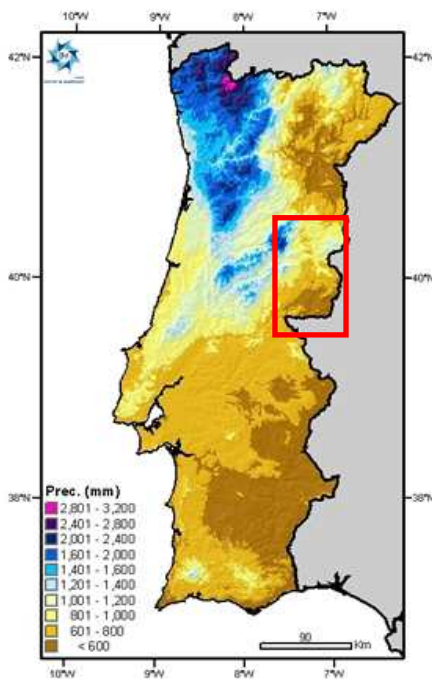


Figura 2.16 - Carta de precipitação acumulada anual de Portugal continental (Fonte: www.meteo.pt, 2011).

A bacia do Ramalhos, encontra-se localizada na zona de transição entre as duas zonas climáticas, na zona centro do país.

Da análise espacial baseada nas normais climatológicas de 1961/90, para a Bacia do Ramalhos temos uma precipitação total anual, ponderada sobre a área da bacia, situada no intervalo entre 1000 e 1 200mm na zona sul, mais plana e de altitude na ordem dos 350 a 400m. Na zona norte da bacia, montanhosa, altitude entre os 850 e 1 050m, a precipitação aumenta para o intervalo compreendido entre os 1400 e 1600mm.

Relativamente à temperatura média anual, acompanha em sentido inverso os valores da precipitação. Nas altitudes compreendidas entre os 850 e 1 050m, a temperatura média anual verificadas varia entre os 7,5 e 10°C. Já nas zonas mais baixas da bacia, com cotas compreendidas entre 350 a 400m, a variação da temperatura média anual situa-se no intervalo entre os 12,5 e 15°C.

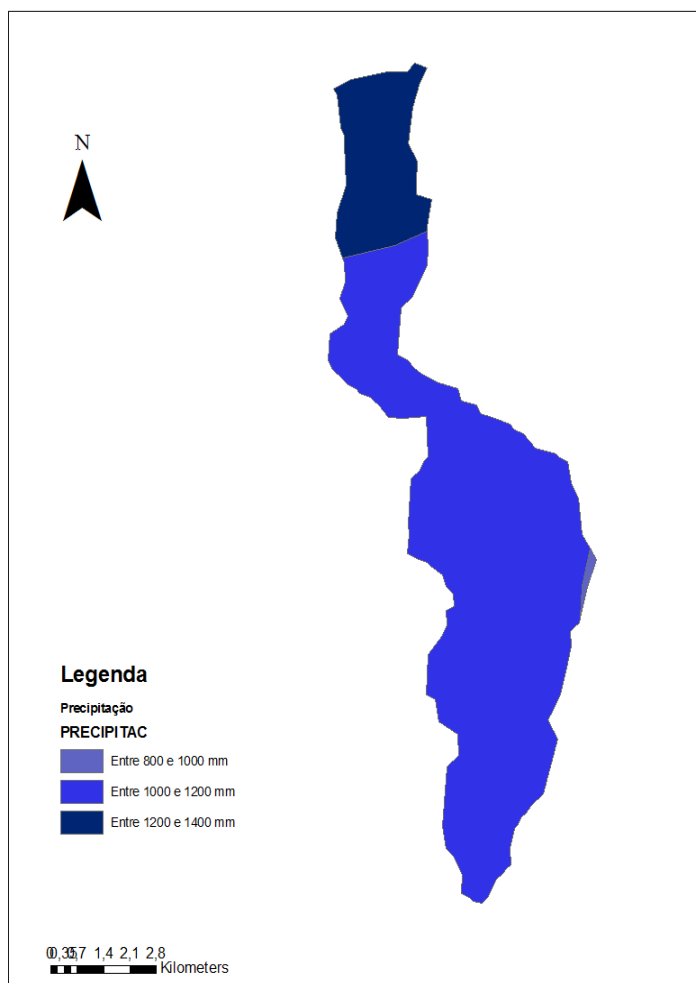


Figura 2.17 - Precipitação média anual acumulada na bacia do Ramalhos (mm) (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

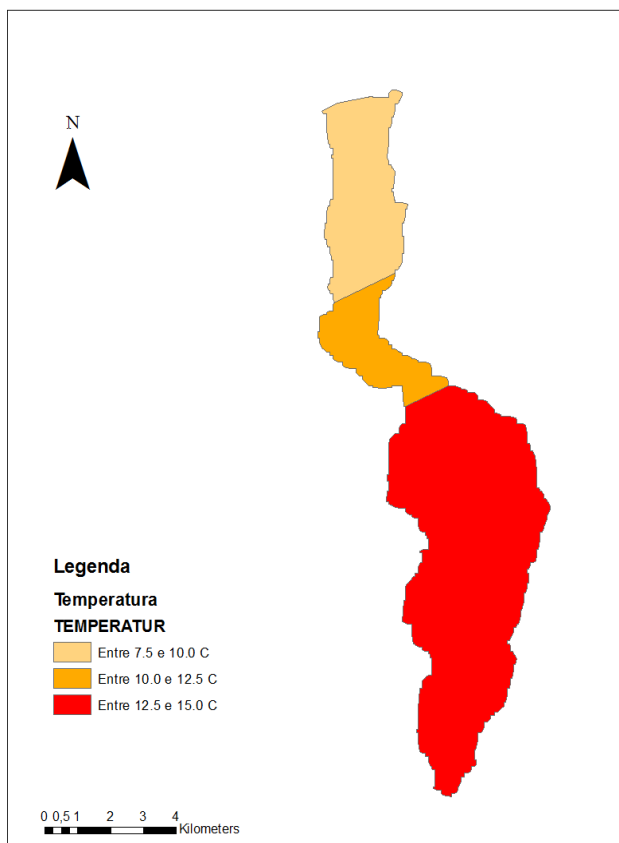


Figura 2.18 - Temperatura média anual acumulada na bacia do Ramalhão (mm) (Fonte: Baseada na *shapefile* do Atlas do Ambiente).

Atendendo à figura 2.18, verifica-se a tendência para que nos meses do semestre quente existam valores baixos de precipitação e no semestre dos meses frios existiram valores altos de precipitação.

Atendendo às considerações anteriores e à sua localização a sul na encosta do maciço montanhoso da Serra da Gardunha, poderá ser classificada como estando inserida na zona de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente, pois tanto os dados de temperatura como os dados da precipitação assim indicam, quando comparados com os valores apresentados, que servem de base à classificação de Köppen (1984) actualizada por Peel *et al* (2007) para o território de Portugal Continental.

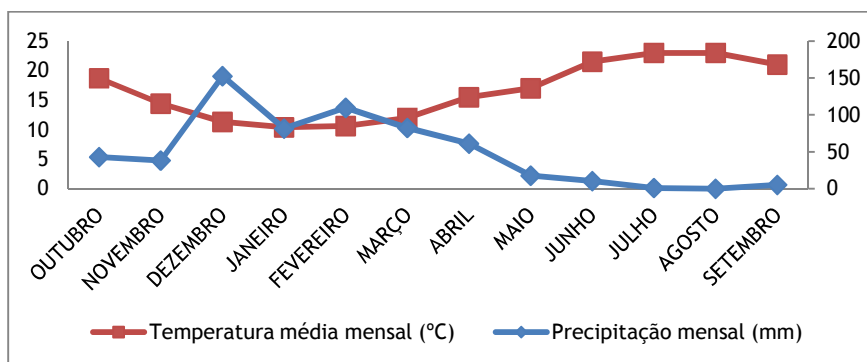


Figura 2.19 - Variação média da temperatura mensal e da precipitação mensal no ano hidrológico 2009/2010 na bacia do Rio Ramalhão.

2.4.1 - Precipitação

Entende-se por precipitação a queda de água da atmosfera, que se verifica quando as partículas de vapor de água que constituem uma nuvem se unem, aumentando o seu peso e volume, formando gotas. A precipitação de água pode ocorrer no estado líquido, sob diversas formas: aguaceiros (forte e passageira), chuvisco (gotas pequenas e espaçadas), chuva (gotas de água) ou orvalho (gotículas que se depositam à superfície). Pode ocorrer também no estado sólido: granizo (pedras de gelo de tamanho variável, que caem violentamente), neve (flocos) ou geada (gotículas que cristalizam)

A partir das medições realizadas por uma estação meteorológica, poderão ser definidos vários parâmetros, tais como a temperatura média mensal, precipitação média mensal, precipitação média mensal acumulada.

A bacia do Ramalhoso está inserida no extremo Norte da grande bacia do Tejo. Consultada a base de dados do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2011), verifica-se a existência de cinco estações meteorológicas na área de influência da bacia do Ramalhoso, apresentadas na tabela II.

Tabela II - Lista de estações meteorológicas na área de influência da bacia do Ramalhoso

Estações meteorológicas - Bacia do Tejo/Ocreza/Ramalhoso		
Estação	Entrada em Funcionamento	Desactivação
Casal da Serra	01-01-1951	31-12-1999
Chão da Va	01-09-1941	01-12-1999
Almaceda	01-09-0941	01-06-1971
São Vicente da Beira	01-11-1931	01-12-2009
Alcains	01-01-1980	01-12-2009
Abrantes	01-02-2001	Activa
Ladoeiro	11-10-2001	Activa

Da pesquisa realizada, verifica-se a existência de séries de dados incompletas até ao ano 2009 e a inexistência de quaisquer dados para o ano de 2010. Atendendo aos pressupostos anteriores, foi alterada a abordagem aos dados e procedeu-se a nova consulta ao SNIRH, no sentido de obter informação para estações meteorológicas que pudessem fornecer dados para aplicação à bacia do ano hidrológico em estudo, figura 2.20.

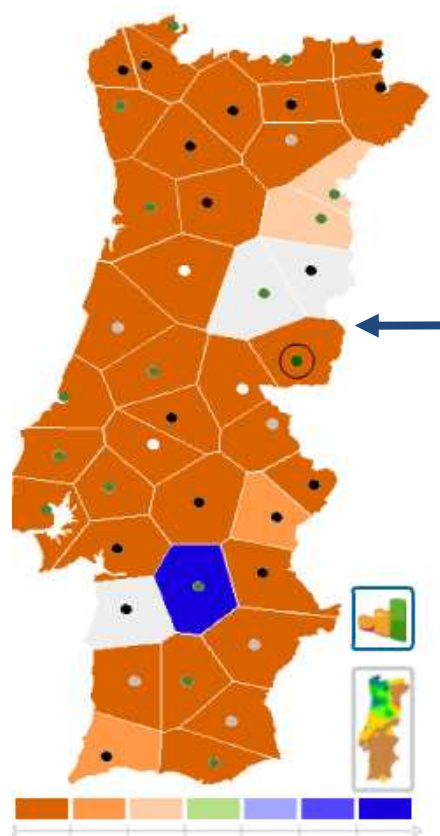


Figura 2.20 - Identificação da estação meteorológica do Ladoeiro assinalada com uma seta, dados de precipitação mensal em (mm) (Fonte: www.snirh.pt, 2011).

Tabela III - Dados da estação meteorológica do Ladoeiro (Fonte: www.snirh.pt, 2011).

Ladoeiro	
Latitude	39.826892°N
Longitude	-7.26603°W
Altitude	215m
Período de monitorização	2001-2011
Índice de Qualidade	15

Como resultado da pesquisa, foram escolhidas as duas estações meteorológicas (Ladoeiro, conforme tabela III e Abrantes, conforme tabela IV) com séries de dados contínuos e fiáveis, com índice de qualidade > 12 (série anual com grande fiabilidade, segundo a classificação do SNIRH), atendendo ao facto de serem estações que se encontram ao abrigo da Convenção sobre Cooperação para a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas e as manutenções efectuadas são bastantes regulares ao longo do ano, permitindo assim um grande grau de confiança nos valores utilizados e no resultado final obtido.

Tabela IV - Dados da estação meteorológica de Abrantes (Fonte: www.snirh.pt, 2011).

Abrantes	
Latitude	39,454°W
Longitude	-8.102°N
Altitude	105m
Período de monitorização	2001-2011
Índice de Qualidade	15

Da estação de Abrantes, identificada na figura 2.21, foram considerados os valores da temperatura média mensal conforme se pode verificar na tabela V, por sugestão dos técnicos do SNIRH, considerando a distância a que se encontrava da bacia, à área de influência do polígono da estação.

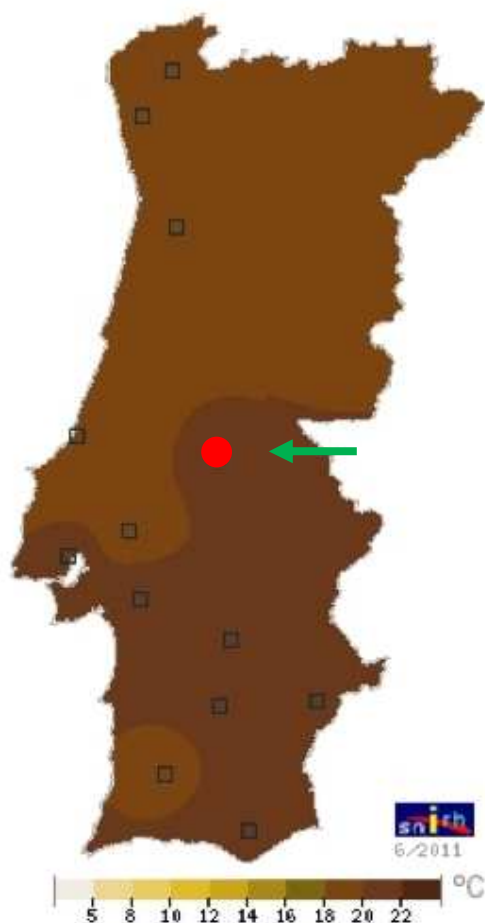


Figura 2.21 - Identificação da estação meteorológica de Abrantes assinalada com círculo a vermelho (temperatura média mensal °C) (Fonte: www.snirh.pt, 2011).

Tabela V - Valores da temperatura média mensal no ano hidrológico 2009/2010 (mm) (Fonte: www.snirh.pt, 2011).

Temperatura média mensal da estação meteorológica do Abrantes (°C)												
Ano	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
2009/2010	18,7	14,4	11,3	10,4	10,6	12	15,5	17	21,5	23	23	21

Da estação udométrica automática com telemetria do Ladoeiro foram utilizados os dados da precipitação mensal e os dados da temperatura mensal foram obtidos da estação meteorológica automática de Abrantes.

Na tabela VI, são apresentados os dados correspondentes à precipitação registados pela estação em cada mês do ano hidrológico 2009/2010. Observa-se que os valores da precipitação são bastante variáveis ao longo do ano, recaindo sobre os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro a maior quantidade de precipitação e nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro a menor precipitação, sendo mesmo inexistente no mês de Agosto.

Da análise reportada aos cinco anos anteriores, o ano hidrológico 2009/2010 com 601,5mm é o segundo ano hidrológico com maior precipitação total anual, sendo apenas ultrapassado pelo ano hidrológico 2006/2007 com 648,3mm.

Foram utilizados para a realização deste trabalho os valores da precipitação mensal observada no ano hidrológico 2009/2010, tal como foi referido anteriormente, para determinar as contribuições pontuais de caudal para cada sub-bacia, considerada para o estudo (linha de água imediatamente a jusante de um ponto de recolha). Estas linhas de água foram consideradas como contribuições pontuais para o caudal do rio Ramalhos.

Tabela VI - Precipitação mensal na estação do Ladoeiro nos últimos cinco anos hidrológicos (mm) (Fonte: www.snirh.pt, 2011).

Ano	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	Total
2009/2010	42,8	38,2	152,4	81,3	109,5	82,2	61	17,6	10,3	1	0	5,2	601,5
2008/2009	25,9	17,9	14,8	42,4	66,4	3,7	32,3	7,2	13,9	2,9	0,6	8,6	236,6
2007/2008	57,4	56,5	19,7	58,2	60	9,8	89,6	52,6	10,3	0,4	0,5	22,1	437,1
2006/2007	157,9	190	28	13,6	46,9	11,6	84,6	31,5	32,9	0,3	11,2	39,8	648,3
2005/2006	135,3	54,2	53,7	17,4	39,6	71	30,4	0,6	16,9	7,7	10,4	38,9	476,1

Não foram tidas em consideração as contribuições distribuídas de caudal, da restante área da bacia, como dados de entrada, por se considerar não existirem elementos qualitativos (pontos de amostragem) que pudessem ser associados a esses caudais, como contribuição para a linha de água, quer com efeito poluente quer com efeito depurador.

3. Qualidade das águas superficiais na Bacia Hidrográfica

3.1 - Introdução

A água é a base da vida, sendo imprescindível na actividade diária do Homem, não apenas no ambiente doméstico, mas também no domínio industrial, onde na grande maioria dos processos, constitui a substância mais importante (Pita, 2002).

A importância da água no nosso planeta é de inigualável significado de vida, daí a frase “água fonte de vida”, sendo também fundamental para o nosso organismo. A água tem um papel importante na nossa saúde, tendo diversas funções como:

- Transporte pelo nosso organismo dos nutrientes e os detritos celulares resultantes dos processos metabólicos e outras substâncias, como hormonas, enzimas e células sanguíneas;
- Excelente solvente e meio de suspensão, muitas substâncias dissolvem-se ou chegam mesmo a estar suspensas, permitindo que existam reacções químicas para formar novos compostos. Estas propriedades facilitam também a eliminação das toxinas acumuladas no nosso organismo, através da urina;
- Efeito lubrificante nas nossas articulações. A desidratação nas cartilagens provoca movimentos abrasivos quando existe um qualquer movimento ósseo resultante de uma deficiente hidratação das extremidades ósseas;
- Um dos reguladores de temperatura do nosso organismo e é essencial para todos os processos fisiológicos de digestão, absorção, assimilação e de excreção.

A quantidade de água existente no nosso corpo varia com a idade, sexo, massa muscular e com a percentagem de tecido adiposo. Em pessoas saudáveis as variações da quantidade de água no corpo surgem no crescimento, aumento ou perda de peso, durante a gravidez e lactação. O total de água corporal varia de pessoa para pessoa, sendo esse valor afectado por diversos factores, como:

- 70% a 75% do peso corporal nos adultos é constituído por massa muscular, sendo esta constituída por 73% de água;
- A percentagem de tecido adiposo no nosso organismo vai dos 10% aos 40% ou mais, contendo apenas 30% de água (Fonte: Bem-estar, Motivação e Desenvolvimento Pessoal, 2011);

Ao longo dos tempos, a civilização humana adaptou-se a um padrão definido de circulação da água, segundo o qual a Terra recicla continuamente este recurso, através da evaporação e escoamento, e a distribui sob a forma de precipitação; a água é depois retida em lagos, pântanos, lençóis subterrâneos, glaciares, nuvens e, na verdade, em todas as formas de vida.

A água doce em abundância foi particularmente importante para a viabilidade e sucesso de desenvolvimento das grandes civilizações. Desde os primeiros sistemas de irrigação, ao longo do Nilo, há mais de cinco mil anos, até aos aquedutos romanos e às cisternas de Masada, passando pelo longo sistema adutor que diariamente abastece a cidade de Lisboa com as águas da albufeira de Castelo de Bode, a civilização humana tem revelado um engenho e uma coragem notáveis na concepção e execução de grandes obras de engenharia hidráulica.

Em termos da distribuição da água no planeta, os oceanos representam cerca de 97% da água do planeta, apresentando-se somente 3% na forma de água doce. De toda a água doce disponível no planeta, a maioria surge na forma de gelo e glaciares (77%), que consistem numa forma inerte na qual não se permite a transferência de água entre os sistemas, podendo-se ainda concluir que uma parte de água doce disponível para uso da humanidade, cerca de 22%, está na forma de água subterrânea. A distribuição do restante 1% dessa porção, 61% corresponde a lagos, 39% distribui-se pela atmosfera e solos e <0,4% aos rios.

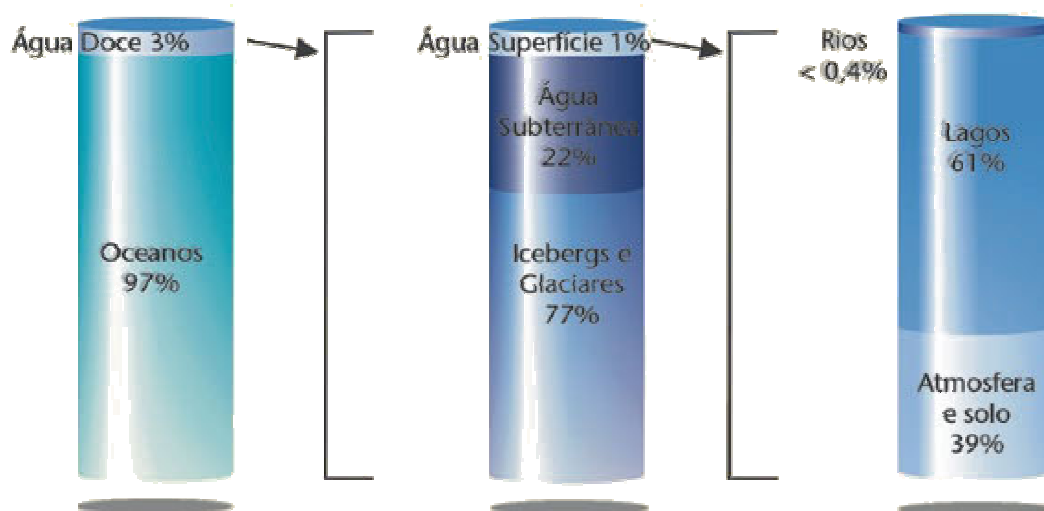


Figura 3.1 - Distribuição da água na Terra (Fonte: www.ineti.pt, 2011)

Se excluirmos as reservas de gelo das calotes polares e glaciares, a água doce utilizável representa apenas 0.6% (8,5 milhões de Km³) da água do nosso planeta, que se reparte desigualmente pelas diversas regiões continentais.

Destes 8,5 milhões de Km³ de água doce utilizável, 97% correspondem a águas subterrâneas, representando os rios e os lagos uma percentagem muito pequena, como se pode verificar na tabela VII (Fonte: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2011).

Tabela VII - Distribuição da água na Terra (Fonte: Adaptado de Nace, U.S. Geological Survey, 1967).

Reservatórios	Volume aproximado de água, em Km ³ de água	Percentagem aproximada da água total
Oceanos	1 320 000 000	96,1
Glaciares	29 000 000	2,13
Água subterrânea	8 300 000	0,61
Lagos	125 000	0,009
Mares interiores	105 000	0,008
Humidade do Solo	67 000	0,005
Atmosfera	13 000	0,001
Rios	1 250	0,0001
Volume de água total	1 360 000 000	100%

Embora a segurança alimentar tenha aumentado significativamente nos últimos 30 anos, a utilização de água para a irrigação representa 66% dos consumos totais e podendo ir até 90% em regiões áridas, os outros 34% são utilizados nos consumos domésticos (10%), na indústria (20%), ou por evaporação nos sistemas reservatórios (4%) (Shiklomanov, 1993).

O consumo *per capita* aumentou com as mudanças no estilo de vida e com o aumento da população, bem como, a proporção de água para uso humano. Isso, juntamente com variações espaciais e temporais na disponibilidade de água, verifica-se que a água doce para produção de alimentos para consumo humano, processos industriais e todos os outros usos se está a tornar um bem cada vez mais escasso, tendo um profundo efeito sobre os ecossistemas e suas espécies dependentes (Fonte: World Water Council, 2011).

O desequilíbrio entre o uso da água doce excessivo e recursos hídricos disponíveis, resulta num factor denominado *Water Stress indicator*. O indicador de *stress* hídrico conforme demonstrado na figura 3.2, mede a proporção entre o consumo de água em relação ao total de recursos renováveis disponíveis. É uma relação crítica, o que implica que o stress da água depende da variabilidade dos recursos.

O stress hídrico é significado de dano nos recursos hídricos em termos de quantidade (sobre exploração de aquíferos, rios secos, etc.) e qualidade (eutrofização, poluição de matéria orgânica, intrusão salina, etc.) O valor desta razão crítica, indica stress hídrico alto baseado nos pareceres de peritos, no conhecimento dos consumos e nos recursos hídricos disponíveis.

Varia entre 20% para bacias com escoamento altamente variável e 60% para bacias em zona temperada. É considerado o valor global de 40% para indicar stress hídrico elevado. Verifica-se que a situação é crítica nos países localizados entre o Paralelo 50°N e o Equador e entre o Paralelo 50°S e o Trópico de Capricórnio.

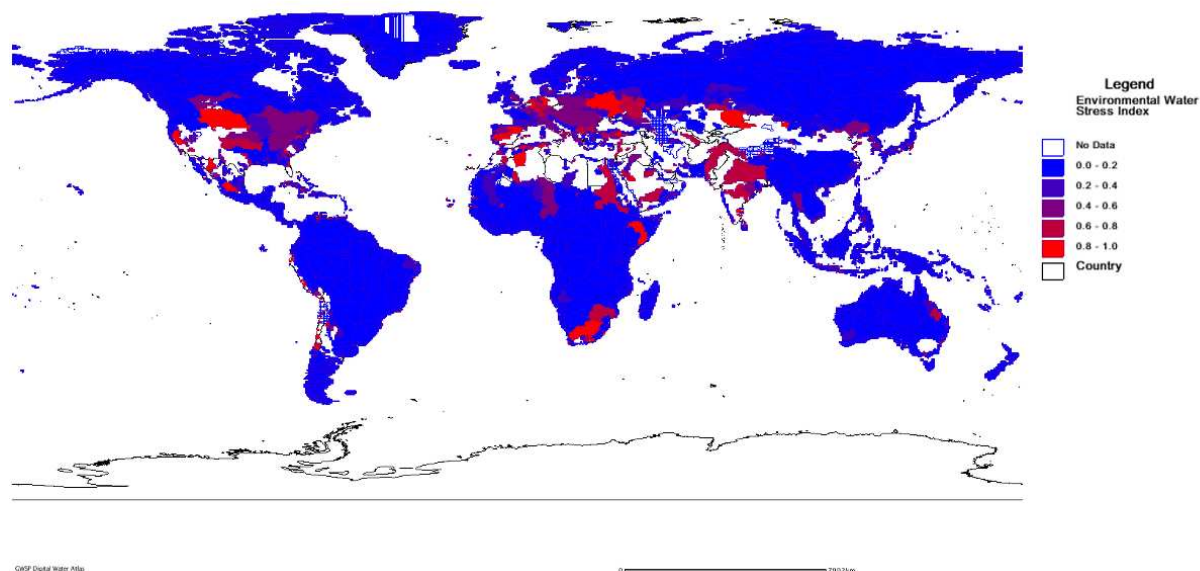


Figura 3.2 - Indicador de Stress hídrico mundial (Fonte: <http://atlas.gwsp.org>, 2011)

Como os recursos hídricos disponíveis estão a escassear, as tensões entre os diferentes consumidores podem intensificar-se, tanto a nível nacional como internacional. Existem cerca de 260 bacias hidrográficas partilhadas por dois ou mais países. Na ausência de instituições fortes e de acordos, as mudanças dentro de uma bacia podem levar a tensões transfronteiriças. Quando os projectos principais prosseguem sem a colaboração regional, podem tornar-se um ponto de conflito, aumentando a instabilidade fronteiriça. O rio da Prata, o mar de Aral, o rio Jordão e o Danúbio podem servir como exemplos (Fonte: World Water Council, 2011).

Devido à pressão sobre o mar de Aral, cerca de metade de sua superfície aquática desapareceu (perto de 36 500 km² registado em 1990 dos 67 100km² registados em 1960, de plataforma marinha são agora ocupados pelo sal), o que representa o desaparecimento de dois terços do seu volume (Fonte: World Water Council, 2011).

Seja qual for o uso de água doce (agricultura, indústria, doméstico), é possível a poupança de água e melhorias na sua gestão. Em todo o mundo, a água doce é desperdiçada, enquanto os humanos não derem conta da sua escassez. Acreditam que o acesso à água é um gesto óbvio e natural como o abrir de uma torneira e ter disponível o caudal pretendido, nas condições óptimas de pressão, cor e sabor.

Com a pressão urbanística e mudanças no estilo de vida, o consumo de água é obrigado a aumentar. Entretanto, as mudanças nos hábitos alimentares, por exemplo, podem atenuar este problema. Sabendo por exemplo, que o cultivo de 1 kg de batatas requer apenas 100 litros de água, enquanto que 1 kg de carne de vaca exige 13 000 litros, poderá facilmente ser incutido na população a praticar refeições ecológicas e deste modo, inverter os consumos de água doce (Fonte: World Water Council).

A qualidade das águas dos rios, lagos e reservatórios depende de um número de factores interligados: geologia, clima, topografia, processos biológicos e usos do solo, em conjunto com o tempo de residência da água e respectivo caudal. No entanto, nos últimos 200 anos, além dos factores referidos também se salientam as actividades humanas associadas ao desenvolvimento urbano e industrial e à intensificação das práticas agrícolas, que conduziram ao transporte de efluentes directamente para os rios ou, indirectamente, através da atmosfera (Vieira, 2007).

No momento em que a água poluída deixa as habitações ou as unidades industriais, torna-se num agente potencial de poluição das linhas de água, aquíferos e comunidades aquáticas.

A poluição dos ambientes aquáticos representa um dos flagelos das autoridades que se preocupam com a qualidade da água doce necessária para as redes de abastecimento público. É conveniente não esquecer, ao falar de poluição, que todos os sistemas aquáticos são capazes de absorver uma certa quantidade de poluição sem que isso lhes cause prejuízos, através da autodepuração.

É a habilidade dos ecossistemas para absorver e degradar a poluição orgânica, através dos organismos que compõem a sua estrutura trófica, que constitui a capacidade de autodepuração de um sistema aquático natural. Só depois de ultrapassados os limites de autodepuração é que a água começa a apresentar sinais de poluição, começando a vida animal e vegetal a ser afectada.

3.2 - Avaliação da qualidade da água

A água é uma substância notável por se apresentar na fase líquida nas condições normais de temperatura e pressão, sendo uma das poucas substâncias inorgânicas a possuir tal característica. A sua densidade atinge valores relativamente elevados, existindo uma interface bem definida entre o meio aquático superficial e a atmosfera, pois a densidade da água é de cerca de oitocentas vezes superior à densidade do ar.

A água contém, geralmente, diversos componentes, sendo caracterizada pela determinação de diversos parâmetros (físicos, químicos e biológicos), que indicam a qualidade e que são sempre o resultado dos processos que ocorrem sobre a bacia hidrográfica (condições naturais). A qualidade da água não é um valor absoluto e tanto indica a adequabilidade para um determinado uso, quanto mede o estado de conservação do corpo hídrico e a intensidade de impacto ambiental em que está submetido o ambiente aquático que advém esta água.

3.2.1 - Parâmetros organolépticos

As características físicas das águas estão relacionadas com os aspectos de ordem estética, cujo acentuado teor pode causar repugnância, sendo geralmente perceptíveis aos sentidos humanos, independente de um exame mais elaborado.

Nas águas naturais, encontram-se substâncias dissolvidas que, atendendo às características, podem produzir cor. A água pura caracteriza-se pela ausência de cor. Estas substâncias podem ser de origem orgânica, tais como: plâncton, algas, húmus; e inorgânica, como por exemplo, íões metálicos como o ferro e o manganésio. A cor é mais intensa com a combinação de ferro e matéria orgânica dissolvidos na água.

A cor de uma água é determinada por comparação da cor da amostra com as cores de uma série de diluições sucessivas da solução padrão utilizada para esse fim. Uma unidade de cor corresponde à coloração provocada por 1mg de platina, em presença do cobalto (escala de Hazen). A legislação nacional, que transpõe a legislação comunitária, considera a cor, apenas como um parâmetro indicativo de controlo, sem definir métodos, nem limites recomendados.

A **turvação** ou **turbidez** da água é causada pela presença de materiais em suspensão, tais como: argila, sílica, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida e organismos microscópicos. Esses materiais ocorrem em tamanhos diversos, variando desde as partículas maiores que se depositam no fundo da linha de água até às que permanecem em suspensão por muito tempo, como é o caso das partículas coloidais. A turbidez, geralmente aumenta nos períodos chuvosos. O processo utilizado como método de referência para a sua quantificação baseia-se na medida óptica da dispersão da luz ao atravessar a água (turbidimetria), medida em unidades Jackson.

O **aroma** ou **cheiro**, resulta da detecção, pelo órgão olfactivo, de substâncias voláteis presentes na água que poderão ter origem biológica, ligadas à presença de organismos patogénicos e corresponder a um risco sanitário efectivo, ou ser resultantes de actividades antropogénicas, nomeadamente da contaminação por efluentes agrícolas ou industriais. Nesse caso, poderão constituir precursores da presença de poluentes. Quanto maior for a temperatura das águas superficiais, mais provável e frequente a existência de aroma pois mais intensa é a actividade biológica e existe menos solubilidade de oxigénio. A quantificação do aroma, uma vez identificada a sua natureza específica, passa pela realização de uma série de diluições sucessivas, com água inodora, até que o aroma deixe de ser identificado.

O **sabor** ou **gosto**, pode resultar de factores de origem biológica ou geológica, nomeadamente a presença de sólidos, sólidos em suspensão ou gases de origem natural ou de origem antropogénica. A quantificação do sabor obedece a metodologias análogas às descritas para o caso do aroma. Deverão ser efectuadas observações a frio (12-25°C) e a quente (40°C), passados 10 minutos da fervura, seguidos de arrefecimento e arejamento, com agitação fraca, até à temperatura ambiente. Deverá ser efectuada uma observação após 24h a 25°C.

Tanto para o sabor ou gosto como para o aroma ou cheiro, a prática e sensibilidade do observador é factor importante no resultado final.

A **temperatura** influencia processos biológicos, reacções químicas e bioquímicas, caracterizando outros parâmetros como a densidade, viscosidade e pressão de vapor do meio líquido. É inversamente proporcional à solubilidade dos gases dissolvidos e directamente proporcional à solubilidade de sais minerais. Varia naturalmente nas águas de acordo com a temperatura do ar, apresentando em Portugal valores teóricos, entre os 12 e 25°C, embora existam variações dos valores reais em torno desses valores. Aumentos significativos de temperatura nas massas de água são geralmente decorrentes de descargas de origem industrial e descargas de centrais térmicas. Variações súbitas de temperatura nas águas causam efeitos danosos aos ecossistemas aquáticos que se adaptam apenas a pequenas variações. Aumento de temperatura resulta na redução do oxigénio dissolvido e no consumo de oxigénio devido à estimulação das actividades biológicas.

3.2.2 - Parâmetros físico-químicos

O **potencial de hidrogénio (pH)** é a relação numérica que expressa o equilíbrio entre iões hidrogénio (H^+) e hidróxido (OH^-). Apresenta variações entre 0 e 14, sendo o valor de 7 o equivalente ao neutro. Águas com $pH < 7$ são consideradas ácidas, e com $pH > 7$, básicas. Os principais factores que determinam o pH da água são o gás carbónico dissolvido e a alcalinidade. (Fonte: www.ebah.com.br, Nascimento, 2011).

As maiores alterações no pH são provocadas por descargas poluentes industriais e águas residuais provenientes de minas ou escorrimentos provenientes de escombreliras de minas a céu aberto. Alterações bruscas de pH ($< 5,0$ ou $> 9,0$) podem causar o desaparecimento de espécies aquáticas.

A condutância específica (**condutividade**) é descrita por Alves, 2010, como uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente eléctrica. Apresenta relação proporcional à concentração de substâncias iónicas dissolvidas. Em águas doces varia de 30 a 2000 $\mu S/cm$ (microsiemens por centímetro) a 25°C. É determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em aniões e catiões. As grandes variações decorrem de lançamentos de descargas industriais poluentes, da mineralização e das descargas de esgotos domésticos (Nascimento, 2011).

Os **cloretos (Cl^-)** estão presentes em quase todas as águas naturais. Podem provir da intrusão de água salgada, poluição por águas residuais ou percolação através de terrenos salgados. Embora em quantidades razoáveis não sejam prejudiciais à saúde humana, transmitem à água sabor salgado repulsivo, sendo perceptíveis ao paladar em concentrações superiores a 250mg/l (Alves, 2010).

Os sulfatos (SO_4^{2-}) ocorrem naturalmente nas águas como resultado da dissolução do gesso. Causam problemas de sabor e odor nas águas. Em concentrações elevadas, devido à lixiviação de depósitos naturais de sulfato de magnésio ou de sulfato de sódio, podem ter efeitos laxativos indesejáveis. São altamente tóxicos, sendo letais aos peixes em concentrações de 1 a 6 mg/l (Alves, 2010).

O silício (Si) não se encontra livre na natureza, mas ocorre como sílica ou quartzo. Nas concentrações habitualmente encontradas na natureza, a sílica ou os silicatos parecem não ter efeitos fisiológicos adversos (Alves, 2010).

O cálcio (Ca^{2+}) elementar não ocorre na natureza porque sofre oxidação na presença de ar e reage com a água libertando hidrogénio gasoso. Todavia, os sais de cálcio e os respectivos iões constituem substâncias frequentemente encontradas nas águas, em teores variáveis entre 1 e 150mg/l, em função da geologia dos terrenos atravessados pelos recursos hídricos, sendo o principal responsável pela dureza de uma água (Alves, 2010).

O magnésio (Mg^{2+}) é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, geralmente acompanha esse elemento. Depois do cálcio, o magnésio é o principal responsável pela dureza das águas, ocorrendo com teores entre 1 e 40mg/l nas águas subterrâneas, aproximando-se de 1400mg/l na água do mar (Alves, 2006).

O sódio (Na^+) é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas, cujos teores variam entre 0,1 e 100mg/l. Em aquíferos litorais, a presença de sódio na água, indica a intrusão de água do mar. Teores excessivos podem afectar as características organolépticas da água (Alves, 2010).

O alumínio (Al^{3+}) é um elemento praticamente ubíquo nas águas naturais, surgindo como sal solúvel, colóide ou composto insolúvel. A concentração depende do pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa para valores de pH entre 5,5 e 6,0 (Alves, 2010).

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) representam a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. Os sólidos que aparecem na forma dissolvida são constituídos principalmente de sais inorgânicos, além de pequenas quantidades de matéria orgânica e gases dissolvidos (Silva *et al.*, 2001). Afectam as características organolépticas da água, concretamente o sabor, pelos sais minerais em solução (Alves, 2010).

Os sólidos suspensos totais (SST) têm relação directa com a turvação e a transparência da água, isto é, quanto maior for a sua concentração na água, maior é a turvação e menor a transparência (Macedo, 2003). O aumento da turvação reduz a taxa de fotossíntese e prejudica a procura de alimento para algumas espécies, levando a um desequilíbrio na cadeia alimentar

aquática. Os sedimentos podem carregar pesticidas, metais pesados e outros componentes tóxicos e a sua deposição no fundo de rios e lagos prejudica as espécies consideradas nectónicas ou bentónicas, a reprodução de peixes e causa assoreamento (Silva, 2006). As quantidades de material coloidal não dissolvido e de material em suspensão aumentam com o grau de poluição. Por este motivo é também indicador da presença de poluição nas linhas de água.

O **oxigénio dissolvido (OD)** não deve ser tido como poluente primário. No entanto, uma adequada provisão de oxigénio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais (Fonte: www.ebah.com.br, Nascimento, 2011).

É fundamental para a manutenção das comunidades aquáticas aeróbias e varia em função da temperatura da água e da pressão atmosférica. Através da medição do teor de oxigénio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados (Alves, 2006).

A **alcalinidade** é a medida total de substâncias presentes numa água, capazes de neutralizarem ácidos, ou seja, é a quantidade de substâncias presentes numa água que actuam como tampão. Quando resultante de materiais que ocorrem naturalmente na água, como os carbonatos e bicarbonatos, é agradável ao paladar e não é considerada prejudicial. Interfere com a capacidade de autodepuração das linhas de água, pois pode inibir a acção de microrganismos presentes nos processos biológicos.

A **dureza** é a propriedade das águas precipitarem, de forma mais ou menos intensa, os sabões, devido essencialmente à presença de sais de cálcio e de magnésio na sua composição. Pode ser expressa como dureza temporária, permanente e total. Afecta as características organolépticas da água e está associada à formação de urólitos.

3.2.3 - Parâmetros microbiológicos

De acordo com o disposto no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, considera-se água para consumo humano toda a água utilizada para esse fim no seu estado original ou após tratamento, qualquer que seja a sua origem, abrangendo: a água para consumo humano; a água utilizada nas indústrias alimentares para fins de fabrico, de tratamento ou de conservação de produtos os substâncias destinadas a serem consumidas pelo homem, e que seja susceptível de afectar a salubridade do produto alimentar final; a água utilizada para a produção de gelo; a água acondicionada em embalagens, recipientes ou autoclaves que, em circunstâncias excepcionais, poderá ser posta à disposição do consumidor para consumo humano directo; a água embalada disponibilizada em circuitos comerciais. Para se verificar o controlo da qualidade da água dos sistemas de abastecimento público com vista à demonstração da sua conformidade com a norma de qualidade da água para consumo humano devem ser analisados os seguintes

parâmetros microbiológicos: coliformes totais (valor máximo admissível (VMA) = 0); coliformes fecais (VMA = 0); estreptococos fecais (VMA = 0) entre outros. Aparecem nas águas devido à contaminação com excrementos fecais de homens e animais de sangue quente.

Coliformes totais e coliformes fecais, nesta classe são abrangidos todos os bacilos gram-negativos não esporulados, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos que fermentam lactose. Os microrganismos do género coliforme constituem os melhores indicadores da possível presença nas águas de material fecal de origem humana ou de animais de sangue quente e, conseqüentemente, de organismos patogénicos. Apresentam maior resistência que estes organismos, sendo encontrados em grandes quantidades nas fezes ou nos solos e plantas (Nascimento, 2011).

Estreptococos fecais, são microrganismos existentes em grande quantidade nas fezes de animais e em pequenas quantidades nas fezes humanas. Assim sendo, sua avaliação, associada à de coliformes fecais, pode indicar a origem fecal animal ou humana (Nascimento, 2011).

As águas destinadas ao consumo humano não devem conter organismos patogénicos. Com vista a completar, tanto quanto necessário, o exame microbiológico das águas destinadas ao consumo humano, convém pesquisar microrganismos patogénicos para além dos indicados anteriormente, em especial: as salmonelas; os estafilococos patogénicos; os bacteriófagos fecais; e os enterovírus.

Além disso, estas águas não devem conter nem organismos parasitas, nem algas e nem organismos macroscópicos (Fonte: Infopédia - Enciclopédia e dicionários Porto Editora).

3.2.4 - Parâmetros biológicos

A avaliação da qualidade biológica da água começou a ser desenvolvida por se ter verificado que a informação oferecida pelos parâmetros físicos e químicos da água, não eram suficientes para a descrição cabal do nível de qualidade da água. Tal situação ocorre com bastante frequência em ecossistemas lênticos com características mais eutróficas. Nestas situações, a ausência de nutrientes na linha de água não significa, de forma alguma ausência dos mesmos, podendo estes encontrarem-se sob a forma orgânica associados ao fitoplâncton. Na realidade, neste tipo de ecossistemas é vulgar verificarem-se flutuações sazonais da concentração de nutrientes na água, cujo padrão temporal de variação é inverso ao apresentado pela biomassa ou fitoplâncton. Deste modo a quantificação, ainda que indirecta do fitoplâncton passou a ser um parâmetro biológico obrigatório na monitorização de ecossistemas lênticos. (Pinto, *et al.*, 2010).

A avaliação biológica pressupõe que qualquer alteração física, química ou biológica (*stress* ecológico) actua sobre a estrutura e funcionamento das comunidades biológicas que constituem os ecossistemas aquáticos. Tal acção manifesta-se de forma diferente consoante o tipo de *stress* ecológico, podendo a reacção das comunidades ser mais ou menos directa.

Os organismos de reduzida mobilidade (algas unicelulares e macroinvertebrados) tendem a reflectir impactes de expressão mais local (habitat ou troço), enquanto organismos de maior mobilidade (ictiofauna) reflectem impactes de expressão geográfica mais vasta (bacia ou sub-bacia) (Pinto, *et al*, 2010).

A clorofila é um dos pigmentos, além dos carotenóides e ficobilinas, responsáveis pelo processo fotossintético. A clorofila *a* é a mais comum das clorofilas (*a*, *b*, *c*, e *d*) e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctónicas e é, por isso, um indicador da biomassa algal. Assim a clorofila *a* é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (Vieira, 2007).

3.4 - Capacidade de autodepuração

Quando é realizada uma descarga de águas residuais numa linha de água, com substâncias orgânicas biodegradáveis, seja de origem doméstica ou origem industrial, a acção que estas águas exercem sobre a linha de água, vai depender da relação existente entre o volume de água que transporte o rio ou ribeiro, com o volume da descarga, pois será a diluição o principal factor que intervém na minimização do impacte que a descarga possa vir a causar na linha de água.

Quando esta relação é grande, ou seja, quando o caudal da descarga for pequeno atendendo ao caudal da linha de água receptora, será produzida uma actividade fertilizante sobre a massa de água, havendo deposição, tendendo ao aparecimento de eutrofização. No caso de a relação ser pequena, será produzida uma actividade negativa sobre os organismos aquáticos, dependendo do tamanho, da classe e tipo desses organismos, e da sua sobrevivência à intensidade da descarga e da sensibilidade dos organismos ao tipo de poluente (Catalan Lafuente *et al*, 1987).

Após recepção de poluentes orgânicos o equilíbrio entre habitats é afectado, o que resulta na desorganização inicial seguida por tendência posterior à reorganização. Neste sentido, a autodepuração nas linhas de água pode ser entendida como fenómeno de sucessão ecológica, com sequência sistemática de substituição de uma comunidade por outra, até que uma comunidade se estabeleça em equilíbrio com as novas condições (Von Sperling, 1983).

Este fenómeno acontece por meio de processos físicos (diluição, sedimentação), químicos (oxidação) e biológicos (decomposição da matéria orgânica por mecanismos heterotróficos). Será importante referir que os compostos orgânicos bioresistentes e os compostos inorgânicos, incluindo os materiais pesados não são afectados pelo mecanismo de autodepuração (Braga *et*

al., 2003; Eiger, 2003). Durante a decomposição, há um decréscimo nas concentrações de oxigênio dissolvido na água, devido à respiração dos seres que consomem a matéria orgânica.

Devido à produção de uma alteração no habitat, é originada uma outra alteração nas espécies naturais, evoluindo para jusante da descarga, conforme a figura 3.3, no sentido da recuperação, paralelamente ao sentido da autodepuração (Catalan Lafuente *et al*, 1987).

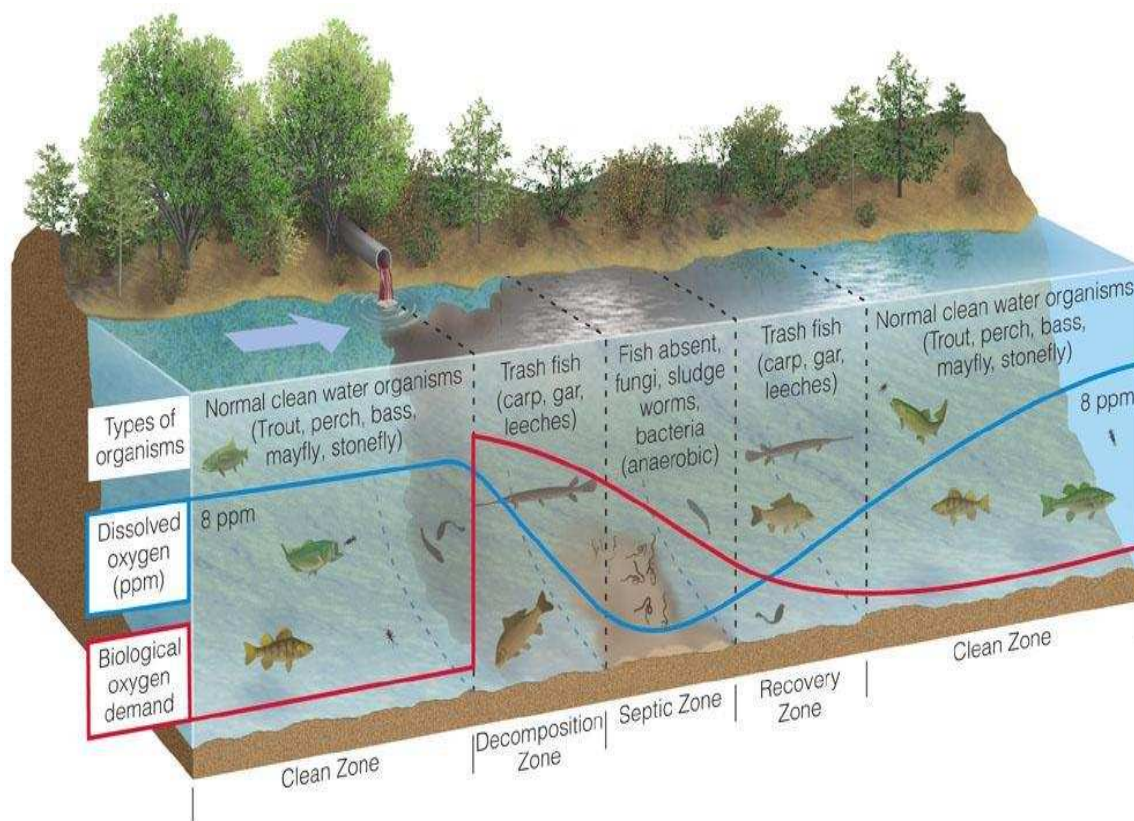


Figura 3.3 - Processo de autodepuração de uma linha de água que recebe descarga de águas residuais (Fonte: Braga, et al., 2002).

Por ser um fenómeno que acontece ao longo do tempo e na direcção longitudinal da linha de água, no sentido montante-jusante em relação ao ponto de descarga, pode segundo (Von Sperling, 1995), identificar-se fisicamente quatro zonas distintas no curso de água, durante o processo:

Zona de degradação: local de lançamento da descarga poluente. A água torna-se turva devido à presença de sólidos suspensos, que após sedimentarem formam bancos de lodo fino. A decomposição ainda é incipiente, existe portanto oxigénio dissolvido na água para manutenção da vida aquática. O número de seres menos adaptados às novas condições são extintos e a presença de algas é rara, atendendo à fraca penetração de luz;

Zona de decomposição activa: nesta fase é iniciado o processo de perturbação do sistema aquático e os microrganismos processam activamente a matéria orgânica. Consequentemente

ocorre uma drástica diminuição da concentração oxigénio dissolvido (com diminuição do número de organismos aeróbios). A água apresenta coloração bastante acentuada com depósito de lodo escuro no fundo. O nitrogénio apresenta-se ainda na forma orgânica, embora grande parte já se encontre na forma de amónia;

Zona de recuperação: grande parte da matéria orgânica já foi degradada, o que implica diminuição do consumo de oxigénio. A água torna-se clara, favorecendo a penetração da luz e consequente processo de fotossíntese, intensificando a entrada de oxigénio na água e a introdução de oxigénio atmosférico na massa líquida. A amónia é convertida em nitrito e este em nitrato. Além disso, os compostos de fósforo são transformados em fosfatos, proporcionando a fertilização do meio. Nessas condições a presença de moluscos, vermes, larva de alguns insectos e até mesmo alguns peixes mais tolerantes à poluição, é possível;

Zona de águas limpas: o ecossistema torna-se mais estável. Predominam as formas mais oxidadas e estáveis dos compostos de nitrogénio e fósforo. Em relação ao oxigénio dissolvido e à matéria orgânica, a massa de água volta às condições normais (Bottino, 2008).

3.5 - Monitorização da qualidade da água

As linhas de água são sistemas complexos, de modo que existem vários factores intervenientes na qualidade da água e na bacia hidrográfica como um todo, que vão desde acções antrópicas aos processos naturais que se desenvolvem no ambiente aquático.

A crescente expansão demográfica e industrial observada nas últimas décadas trouxe como consequência a degradação das águas dos rios, lagos e reservatórios. A falta de recursos financeiros nos países em desenvolvimento tem agravado este problema, pela impossibilidade da aplicação de medidas correctivas para reverter a situação (Santos, *et al.*, 2009).

Com o desenvolvimento das actividades humanas, qualquer linha de água está sujeita a sofrer alterações que podem comprometer a qualidade das suas águas. Por isso, torna-se importante a monitorização da sua qualidade, para que possam ser entendidos os requisitos estabelecidos para a sua classe e garantir os usos previstos.

Os programas de monitorização incluem frequentemente amostragem de água em diferentes locais e determinação de um ocasionado número de parâmetros físico-químicos e biológicos, o que conduz à elaboração de uma matriz com um grande número de dados, cuja interpretação é, por vezes, complexa (Simeonov *et al.*, 2003).

Os objectivos da monitorização das linhas de água passam pela avaliação, evolução da qualidade das águas interiores para cada ponto de amostragem e propiciar o levantamento das áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, identificando troços de rios onde a qualidade possa estar mais degradada, possibilitando acções preventivas e de controlo por parte das entidades envolvidas com o objectivo de atingir o bom estado ecológico das águas.

A monitorização de uma linha de água também é um mecanismo de avaliação, podendo contribuir como base para um plano de acção do mesmo e das áreas adjacentes. São necessárias avaliações para a tomada das decisões.

3.5.1 - Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Ramalhos, localiza-se na zona centro de Portugal Continental, no distrito e concelho de Castelo Branco, como se apresenta na figura 3.4 e abarca uma área de 54,81km² sensivelmente. Faz parte integrante da grande bacia hidrográfica do rio Tejo.

Desenvolve-se de Norte para Sul, acompanhando o Rio Ramalhos, linha de água de maior ordem dentro da bacia. Tem forte variabilidade de caudais devido ao percurso médio de escoamento superficial ser pequeno, aproximadamente 50 metros, favorecendo o escoamento tipo torrencial, apresentando grandes caudais durante a época chuvosa do ano e caudais muito pequenos, existindo mesmo registos de ausência de caudal nos meses de Julho e Agosto em anos de fraca pluviosidade.

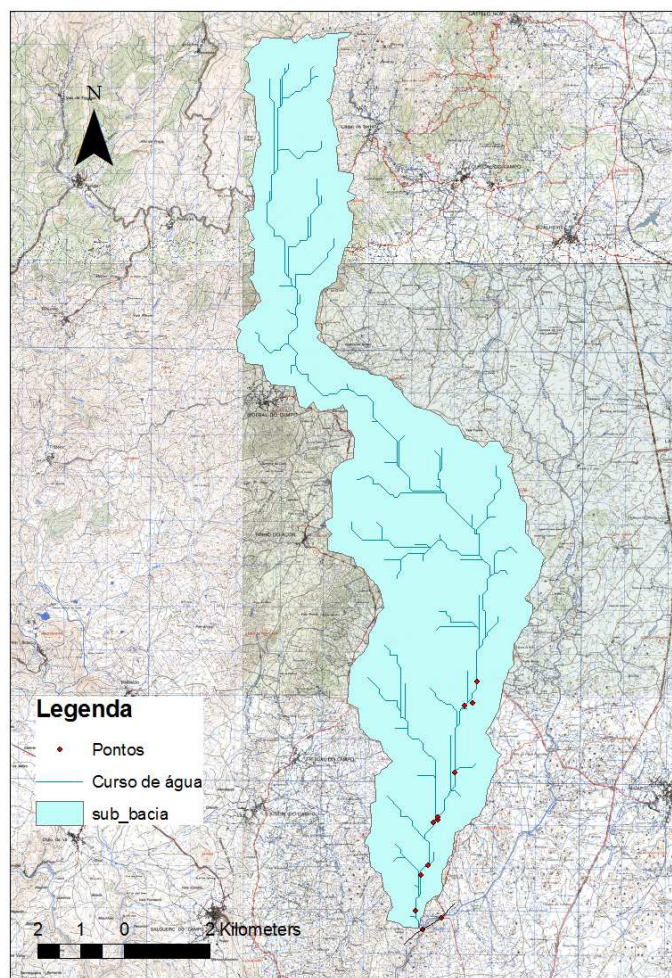


Figura 3.4 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Ramalhos (Fonte: Adaptada da shapefile do Atlas do Ambiente e da Carta Militar).

De acordo com o disposto no Anexo I do Decreto-Lei n.º 149/2004 de 22 de Junho, que altera o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho, a linha de água em estudo, afluente do rio Ocreza, está inserida dentro de uma bacia classificada como zona sensível.

Atendendo a que se localiza numa zona florestal e agrícola, com povoações dispersas, na década de 60, foi criada uma reserva de água, com a execução da barragem do Pisco, como se pode identificar na figura 3.5.

Tal facto, cria situações problemáticas de qualidade da água devido ao aumento da concentração de poluentes, pois com o armazenamento de água, existe diminuição do caudal da linha de água a jusante da barragem durante a época seca do ano e o mesmo não se verifica com o caudal da descarga poluente de Póvoa de Rio de Moinhos e Cafede.

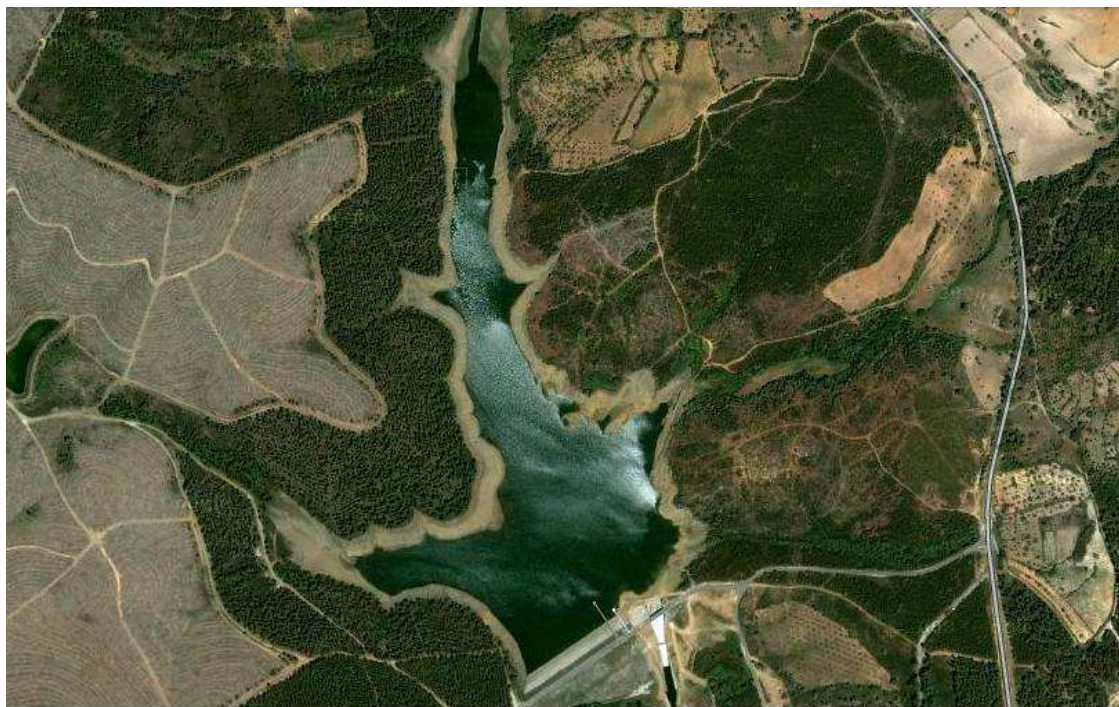


Figura 3.5 - Barragem do Pisco (Fonte: Google Maps, 2011)

Apenas as freguesias referidas anteriormente são referenciadas pela empresa gestora que possuem Estações de Tratamento de Águas Residuais, existindo por isso descargas na linha de água provenientes de sistemas de tratamento inadequados cuja identificação não foi possível neste trabalho.

Relativamente à poluição distribuída, será proveniente da ocorrência de escoamento superficial de terrenos de cultivo agrícola, que se localizam predominantemente, nas imediações das linhas de água afluentes do Ramalhão e arrastam os contaminantes provenientes quer da fertilização quer dos tratamentos com pesticidas.

3.5.2 - Caracterização dos pontos de amostragem

O número e a localização dos pontos de amostragem/recolha efectuados, foi elaborado de acordo com o comprimento da linha de água, as suas características geográficas e pontos de descarga pontual de poluentes.

O número de pontos de recolha estipulados foi de 12, distribuídos de forma equidistante, conforme se poderá verificar na figura 3.6, de modo a obter distâncias inferiores a mil metros entre pontos de amostragem. Foram também efectuadas recolhas de amostras de água imediatamente a jusante do ponto de descarga da ETAR de Póvoa Rio de Moinhos e Cafede, no Rio Ramaloso, bem como a montante e a jusante da confluência do Rio Ramaloso com o Rio Ocreza. Esta metodologia foi aplicada nas três campanhas, realizadas ao longo do ano hidrológico 2009/2010, nos meses de Janeiro, Abril e Junho.

As 12 amostras foram colhidas ao longo de um dia e transportadas no dia da colheita para o Laboratório Regional de Trás-os-Montes, localizado em Mirandela.

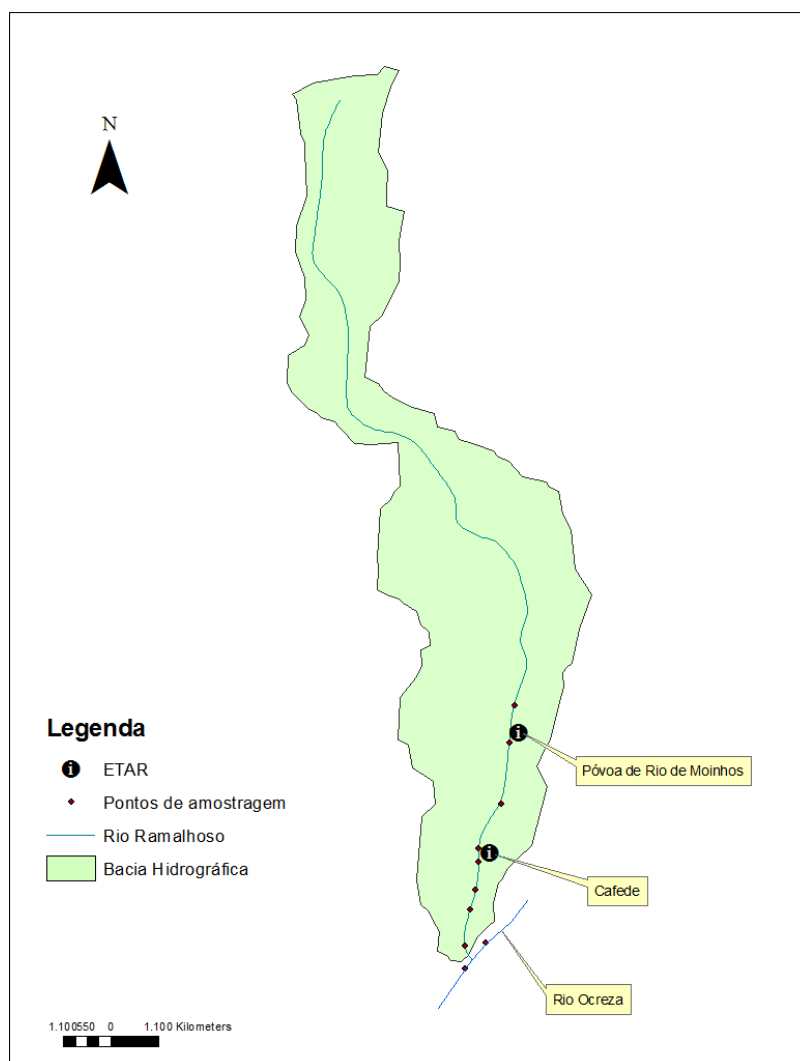


Figura 3.6 - Localização dos pontos de amostragem na bacia do Rio Ramaloso (Fonte: Shapefile do Atlas do Ambiente).

Caracterização do impacto das descargas da ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos e Cafede no Rio Ocreza

Como se pode verificar nas tabelas VIII, IX e X, existiu a preocupação de manter a localização de cada ponto de amostragem o mais aproximado possível ao longo das três campanhas de amostragem.

Tabela VIII - Identificação dos pontos na primeira campanha de amostragem

Primeira campanha de amostragem					
Nome	Designação	Linha de água	Latitude	Longitude	Hora
Capela da Senhora das Almas	P1	Ramalhoso	39° 56.385'N	7° 30.645'O	09:40:52
Caixa - Etar Póvoa	P2	Ramalhoso	39° 56.191'N	7° 30.754'O	09:54:13
Jusante - Etar Póvoa	P3	Ramalhoso	39° 56.172'N	7° 30.782'O	10:03:18
Folha de Baixo	P4	Ramalhoso	39° 55.279'N	7° 31.018'O	10:28:00
Nave da Ega	P5	Ramalhoso	39° 54.697'N	7° 31.196'O	10:43:08
Tubo descarga - Etar Cafede	P6	Ramalhoso	39° 54.667'N	7° 31.176'O	10:51:42
Jusante - Etar Cafede	P7	Ramalhoso	39° 54.669'N	7° 31.258'O	10:57:50
Vale do Quinto	P8	Ramalhoso	39° 53.966'N	7° 31.404'O	11:29:57
Moinho da Charneca	P9	Ramalhoso	39° 54.103'N	7° 31.288'O	11:45:35
Barroca da Virtude	P10	Ramalhoso	39° 53.525'N	7° 31.566'O	12:20:03
Montante confluência Ocreza	P11	Ocreza	39° 53.415'N	7° 31.080'O	12:48:50
Jusante confluência Ocreza	P12	Ocreza	39° 53.371'N	7° 31.289'O	13:18:13

Tabela IX - Identificação dos pontos na segunda campanha de amostragem

Segunda campanha de amostragem					
Nome	Designação	Linha de água	Latitude	Longitude	Hora
Capela da Senhora das Almas	P1	Ramalhoso	39° 56.390'N	7° 31.387'O	17:15:14
Caixa - Etar Póvoa	P2	Ramalhoso	39° 56.193'N	7° 31.387'O	17:00:38
Jusante - Etar Póvoa	P3	Ramalhoso	39° 56.169'N	7° 31.387'O	16:52:12
Folha de Baixo	P4	Ramalhoso	39° 55.288'N	7° 31.387'O	16:34:08
Nave da Ega	P5	Ramalhoso	39° 54.667'N	7° 31.387'O	16:22:57
Tubo descarga - Etar Cafede	P6	Ramalhoso	39° 54.672'N	7° 31.387'O	16:17:57
Jusante - Etar Cafede	P7	Ramalhoso	39° 54.676'N	7° 31.387'O	16:10:47
Vale do Quinto	P8	Ramalhoso	39° 54.098'N	7° 31.387'O	15:54:02
Moinho da Charneca	P9	Ramalhoso	39° 53.971'N	7° 31.387'O	15:41:08
Barroca da Virtude	P10	Ramalhoso	39° 53.416'N	7° 31.387'O	15:24:17
Montante confluência Ocreza	P11	Ocreza	39° 53.417'N	7° 31.387'O	15:31:58
Jusante confluência Ocreza	P12	Ocreza	39° 53.309'N	7° 31.387'O	15:05:34

Tabela X - Identificação dos pontos na terceira campanha de amostragem

Terceira campanha de amostragem					
Nome	Designação	Linha de água	Latitude	Longitude	Hora
Capela da Senhora das Almas	P1	Ramalhoso	39° 56.199'N	7° 30.737'O	07:46:09
Caixa - Etar Póvoa	P2	Ramalhoso	39° 56.200'N	7° 30.737'O	07:48:37
Jusante - Etar Póvoa	P3	Ramalhoso	39° 56.164'N	7° 30.783'O	07:57:55
Folha de Baixo	P4	Ramalhoso	39° 55.279'N	7° 31.018'O	08:16:38
Nave da Ega	P5	Ramalhoso	39° 54.671'N	7° 31.206'O	08:27:43
Tubo descarga - Etar Cafede	P6	Ramalhoso	39° 54.670'N	7° 31.207'O	08:30:21
Jusante - Etar Cafede	P7	Ramalhoso	39° 54.675'N	7° 31.206'O	08:35:18
Vale do Quinto	P8	Ramalhoso	39° 53.971'N	7° 31.399'O	09:02:45
Moinho da Charneca	P9	Ramalhoso	39° 54.104'N	7° 31.292'O	09:14:49
Barroca da Virtude	P10	Ramalhoso	39° 53.417'N	7° 31.076'O	09:38:22
Montante confluência Ocreza	P11	Ocreza	39° 53.301'N	7° 31.391'O	09:57:00
Jusante confluência Ocreza	P12	Ocreza	39° 53.300'N	7° 31.390'O	09:59:45

Em termos de interpretação dos pontos de recolha, designados de P1 a P10, estão identificados pela ordem de amostragem, ao longo do rio Ramalhoso, de Norte (P1) para Sul (P10), ou seja neste caso, da nascente para a foz, no rio Ocreza. As colheitas dos pontos P11 e P12, foram realizados no rio Ocreza, tendo sido colhido o ponto P11 a montante e o ponto P12 a jusante da confluência, para deste modo se determinar o impacte do rio Ramalhoso no rio Ocreza.

Pretende-se mostrar, através do levantamento fotográfico, da figura 3.7 até à figura 3.41, as condições climatéricas, o reconhecimento visual dos pontos de amostragem, e a variação dos níveis da linha de água, na data de cada recolha.



Figura 3.7 - Ponto P2 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.8 - Ponto P2 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.9 - Ponto P3 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.10 - Ponto P4 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.11 - Ponto P5 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.12 - Ponto P6 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.13 - Ponto P7 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.14 - Ponto P8 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.15 - Ponto P9 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.16 - Ponto P10 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.17 - Ponto P12 - 1ª campanha de recolha



Figura 3.18 - Medidor de multiparâmetros com GPS



Figura 3.19 - Ponto P1 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.20 - Ponto P2 - 2ª campanha de recolha

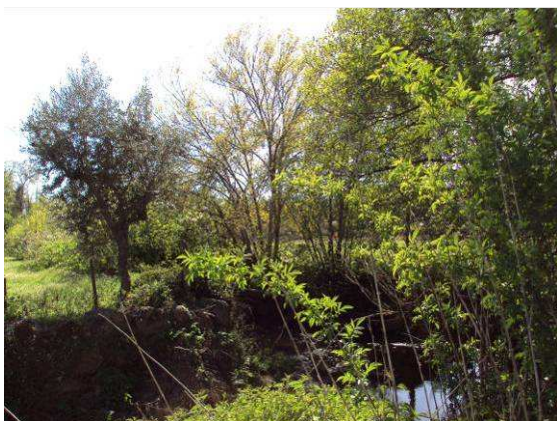


Figura 3.21 - Ponto P3 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.22 - Ponto P4 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.23 - Ponto P5 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.24 - Ponto P6 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.25 - Ponto P7 - 2ª campanha de recolha

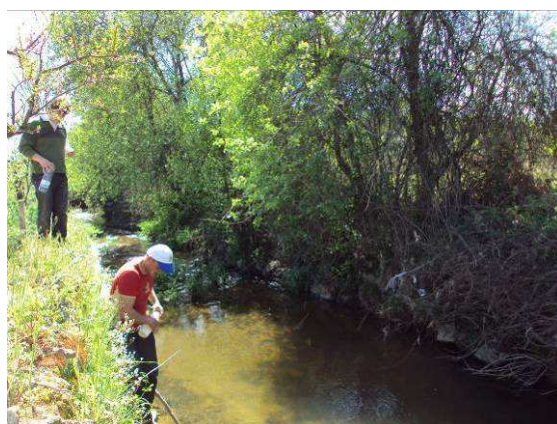


Figura 3.26 - Ponto P8 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.27 - Ponto P9 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.28 - Ponto P11 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.29 - Ponto P12 - 2ª campanha de recolha



Figura 3.30 - Ponto P1 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.31 - Ponto P2 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.32 - Ponto P3 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.33 - Ponto P4 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.34 - Ponto P5 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.35 - Ponto P6 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.36 - Ponto P7 - 3ª campanha de recolha

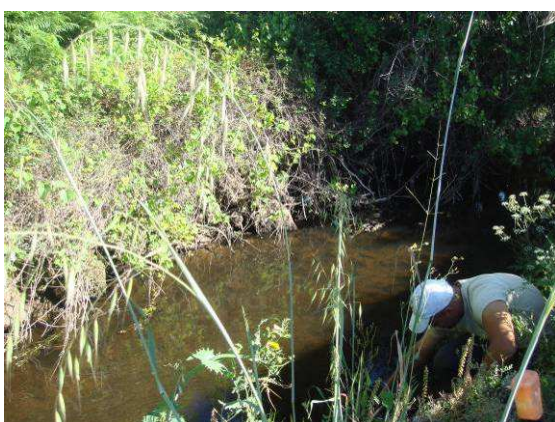


Figura 3.37 - Ponto P8 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.38 - Ponto P9 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.39 - Ponto P10 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.40 - Ponto P11 - 3ª campanha de recolha



Figura 3.41 - Ponto P12 - 3ª campanha de recolha

Podemos concluir que entre a 1ª e a 3ª campanha, existiu uma significativa diminuição do caudal tanto no rio Ramalhoso como no rio Ocreza, com a consequente diminuição dos valores dos parâmetros Sólidos Suspensos Totais. Quanto aos valores da Condutividade aumentaram com a diminuição de caudal na linha de água, de acordo com os resultados apresentados nas tabelas XIV até à tabela XIX.

3.5.3 - Descrição das ETAR

A ETAR de Póvoa/Tinalhas, conforme figura 3.42, foi projectada para proceder à recolha e tratamento dos efluentes das localidades de Póvoa do Rio de Moinhos e Tinalhas. Dimensionada para servir uma população de 2101 habitantes-equivalentes. A ETAR tem uma capacidade de tratamento de 278 m³/dia de águas residuais.

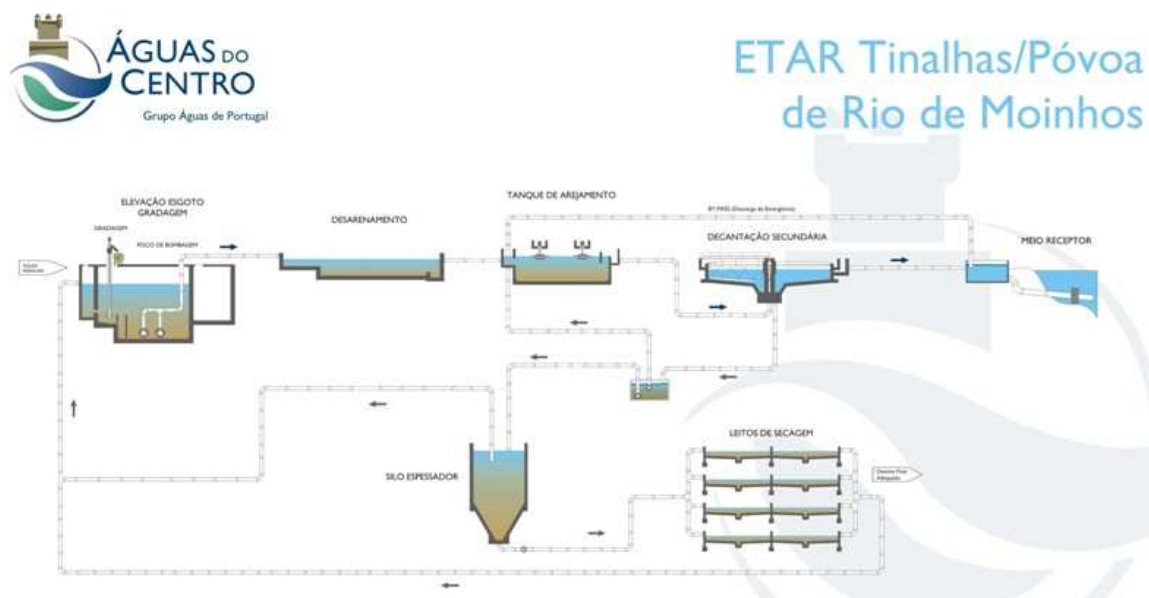


Figura 3.42 - Modelo de tratamento da ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos (Fonte: <http://www.aguasdocentro.pt>)

A ETAR de Cafede, conforme figura 3.43, foi projectada para proceder à recolha e tratamento dos efluentes das localidades de Caféde. Dimensionada para servir uma população de 1000 habitantes-equivalentes, a ETAR tem uma capacidade de tratamento de 128 m³/dia de águas residuais.

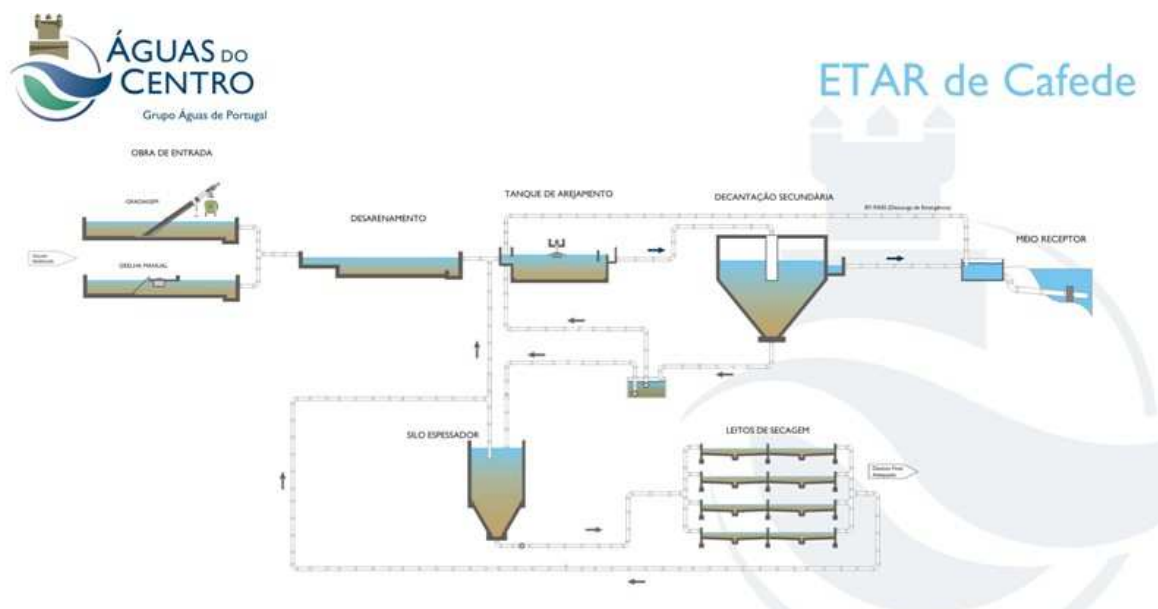


Figura 3.43 - Modelo de tratamento da ETAR de Cafede (Fonte: <http://www.aguasdocentro.pt>)

3.5.4 - Amostragem

Foram efectuadas três campanhas de amostragem, no ano hidrológico 2009/2010, como foi referido anteriormente. As recolhas na linha de água, foram realizadas nos dias 16 de Janeiro (entre as 9h30 e as 13h20), 10 de Abril (entre as 15h05 e as 17h15) e 5 de Junho de 2010 (entre as 7h45 e as 10h).

Com estas três campanhas de amostragem, pretendeu-se estudar o comportamento da linha de água em período chuvoso, em condições intermédias e período seco.

As amostras para a análise dos parâmetros pH; Temperatura; Sólidos suspensos totais (SST); Carência Química de Oxigénio (CQO); Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅); Azoto Total; Fósforo Total e Coliformes Totais a 44°C, foram recolhidas pelo técnico qualificado do Laboratório que procedeu às análises. A amostra foi directamente colhida na linha de água, com recurso a uma cana extensível com recipiente de PVC na ponta. Atendendo que todos os pontos escolhidos eram acessíveis, foram utilizados dois recipientes de PVC, um recipiente de 2000ml de capacidade para análise dos parâmetros físico-químicos, e um outro recipiente esterilizado, com capacidade de 500ml, contendo uma solução de tiosulfato de sódio, para análise dos parâmetros microbiológicos.

Depois de rotuladas as amostras foram armazenadas em malas térmicas existentes no veículo e transportadas até ao laboratório.

Relativamente aos parâmetros oxigénio dissolvido (OD); condutividade; salinidade, foram determinados *in situ* com recurso a uma sonda multiparâmetros modelo HI 9828 da HANNA, fabricada de acordo com a norma IP68. Incorpora GPS garantindo uma precisão de 10m e uma sonda com microprocessadores e amplificadores que convertem os sinais de alta impedância, dos sensores da sonda, eliminando problemas comuns associados com sinais de alta impedância.

A sonda permite ainda uma calibração rápida do pH e condutividade, oxigénio dissolvido, utilizando uma solução de calibração indicada pelo fabricante.

Na tabela XI, poderão ser consultadas as gamas de medição e a respectiva precisão da sonda.

Tabela XI - Resultados da 1ª campanha de amostragem

Parâmetro	Gama de valores	Precisão
pH	0,00 a 14,00 pH	±0,02 pH
Oxigénio dissolvido	0,0 a 500,0% / 0,00 a 50,00 mg/l	0,0 a 300,0%: ±1.5% da leitura ou ±1,0% o que for maior; 300,0 a 500,0%: ±3% da leitura; 0,00 a 30,00 mg/L: ±1.5% da leitura ou 0,10 mg/L o que for maior; 30,00 mg/L a 50,00 mg/L: ±3% da leitura
Condutividade	0,000 a 200,000 mS/cm (EC absoluto até 400 mS/cm)	±1% da leitura ou ±1 µS/cm o que for maior
Salinidade	0,00 a 70,00 PSU (Gama Prática de Salinidade Alargada)	±2% da leitura ou 0., PSU o que for maior

3.5.5 - Parâmetros de qualidade da água

Após colhidas as amostras, o laboratório efectuou as análises aos parâmetros, de acordo com as normas estabelecidas para cada um.

Para o pH, foi utilizado o método baseado do documento normativo NP 411/1966 (escala Sorensen); Sólidos Suspensos Totais com o método apoiado no documento normativo SMEWW 2540D (mg/l); o Fósforo através do método baseado no documento normativo SWEWW 4500-PE (mg/l P); Carência Química de Oxigénio (CQO) com o método da volumetria de precipitação (mg/l O₂); Carência Bioquímica de Oxigénio baseado no método manométrico (mg/L O₂); Azoto

total a partir do método de cálculo (mg/L N) e os Coliformes Fecais a 44°C sustentado no método PAB11, método interno da membrana Lauril a 44°C (UFC/100 mL).

Como foi referido anteriormente, *in situ* foram determinados o Oxigénio Dissolvido, (mg/L); Condutividade Eléctrica (µS/cm); Salinidade (mg/L), utilizando uma sonda multiparâmetros da HANNA.

3.5.6 - Características da qualidade da água para fins múltiplos

Em Portugal deu-se início à exploração das redes de monitorização de qualidade dos recursos hídricos superficiais no início dos anos oitenta, com um número variável de estações e de parâmetros analisados. Os objectivos principais consistiam no conhecimento da qualidade da água e respectiva evolução face ao impacto das diversas actividades antropogénicas existentes.

A partir de 1997 foram seleccionadas, nas várias bacias hidrográficas, cerca de 100 estações da Rede de Qualidade da Água Superficial, para evolução da qualidade tanto em rios como em albufeiras, tentando relacionar, sempre que possível os resultados obtidos com as fontes de poluição presentes (Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos)

A classificação da água para usos múltiplos, conforme se pode verificar na figura 3.44, permite obter informação sobre os usos que potencialmente podem ser considerados na massa de água classificada. As classes consideradas são cinco:

Classe A (Excelente): água com qualidade equivalente às condições naturais, aptas a satisfazer potencialmente as utilizações mais exigentes em termos de qualidade;

Classe B (Boa): água com qualidade ligeiramente inferior à classe A, podendo também satisfazer potencialmente todas as utilizações;

Classe C (Razoável): água com qualidade aceitável, suficiente para irrigação, para usos industriais e produção de água potável após tratamento rigoroso. Permite a existência de vida piscícola (espécies menos exigentes), mas com reprodução aleatória; apta para recreio mas sem contacto directo;

Classe D (Má): água com qualidade medíocre, apenas potencialmente aptas para irrigação, arrefecimento e navegação. A vida piscícola pode subsistir, mas de forma aleatória;

Classe E (Muito má): água extremamente poluída e inadequada para a maioria dos usos.

Classificação dos cursos de Água Superficiais conforme características de Qualidade para usos Múltiplos

fonte: INAG - Instituto da Água

CLASSES	A Excelente	B Boa	C Razoável	D Má	E Muito má
PÁRAMETROS					
pH	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	5.5 - 10.0	4.5 - 11.0	-
Condutividade µS/cm	<=750	750,1-1000	1000,1-1500	1500,1 - 3000	>3000
Oxigénio Dissolvido %	>=90,0	89,9 - 70,0	69,9 - 50,0	49,9 - 30,0	<30,0
Nitratos mg/l	<=5.0	5.1- 25.0	25.1 - 50.0	50.1 - 80.0	>80.0
Coliformes Totais NMP/100 ml	<=50	51 - 5000	5001- 50000	>50 000	-
E. Coli NMP/100 ml	<=20	21 - 2000	2001- 20000	>20 000	-
Enterococos NMP/100 ml	<=20	21 - 2 000	2001 - 20000	>20 000	-

Figura 3.44 - Limites de qualidade de cursos de água superficiais (Fonte: INAG - Instituto da água)

Os parâmetros responsáveis pelas classificações D e E, são, em regra os microbiológicos e a matéria orgânica. Este aspecto reflecte ainda alguns problemas na eficiência de tratamento tanto de águas residuais urbanas como de explorações agro-pecuárias.

A implementação do Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR), irá contribuir em Portugal, para a diminuição destas classificações, aumentando sim, as classificações A, B e C.

Define o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto os critérios para os valores limite de emissão na descarga de águas residuais e traça os objectivos ambientais de qualidade mínima para águas superficiais a observar, em termos de valores máximos admissíveis, de modo a diminuir o impacte e a poluição nas massas de água.

Estão descritos na tabela XII e XIII os valores atrás descritos e que irão servir para análise dos resultados obtidos nas campanhas de amostragem.

Tabela XII - Objectivos ambientais da qualidade mínima para águas superficiais (Fonte: Anexo XXI - DL 236/98 de 1/8)

Parâmetros	Expressão dos resultados	Valor Máximo Admissível
pH	Escala de Sorensen	5,0-9,0
Temperatura	°C	30
Oxigénio dissolvido	% de saturação	50
CBO ₅	O ₂ mg/L	5
Azoto total	N mg/L	1
Fósforo total	P mg/L	1

Tabela XIII - Valores Limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais (Fonte: Anexo XVIII - DL 236/98 de 1/8)

Parâmetros	Expressão dos resultados	Valor Limite de Emissão ⁽¹⁾
pH	Escala de Sorensen	6,0-9,0 ⁽²⁾
Temperatura	°C	Aumento de 3°C ⁽³⁾
CQO (0)	O ₂ /mgL	150
CBO ₅	O ₂ mg/L	40
SST (0)	mg/L	60
Azoto total	N mg/L	15
Fósforo total	P mg/L	3 (em águas que alimentam lagoas ou albufeiras) ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Entendido como média mensal, definida como média aritmética das médias diárias referentes aos dias de observação de um mês, que não deve ser excedido. O valor diário, determinado com base numa amostra representativa da água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas, não poderá exceder o dobro do valor médio mensal (a amostra num período de vinte e quatro horas deverá ser composta tendo em atenção o regime de descarga das águas residuais produzidas).

⁽²⁾ O valor médio diário poderá, no máximo, estar compreendido no intervalo 5,0-10,0.

⁽³⁾ Temperatura no meio receptor após descarga de água residual, medida a jusante do ponto de descarga, podendo o valor médio exceder o valor médio mensal do 2°.

⁽⁴⁾ Albufeira de Pracana.

3.5.7 - Resultados

Os resultados da caracterização físico-química e microbiológica, das campanhas de amostragem realizadas, são apresentados nas tabelas XIV, XV e XVI, XVII, XVIII e XIX.

A contaminação microbiológica de coliformes fecais, atinge valores elevados nas caixas de descarga das ETAR de Póvoa de Rios de Moinhos e Cafede, notando-se ainda, diferença nestes valores, entre a colheita efectuada em Janeiro (mais baixos) e os valores da colheita efectuada em Junho (mais elevados). Estes valores baixam, após diluição na linha de água. Poderá verificar-se que na primeira recolha efectuada, após descarga da ETAR na linha de água, os

valores de coliformes fecais baixam, com excepção da campanha de Junho, na ETAR da Póvoa, que aumentam.

Em termos de sólidos suspensos totais e condutividade, os valores mais elevados também foram determinados nas caixas de ETAR. Nos restantes pontos de amostragem, verifica-se que no período chuvoso, os valores de sólidos suspensos totais aumentam, devido à presença de partículas arrastadas pelo escoamento superficial provocado pela chuva, diminuindo no período seco.

Em relação à condutividade, os valores determinados no período seco, são superiores aos valores determinados no período chuvoso.

Quanto aos valores de oxigénio dissolvido, também são mais elevados no período chuvoso e menores no período seco.

Tabela XIV - Resultados da 1ª campanha de amostragem

Amostras	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	CQO (mg/L O ₂)	CBO ₅ (mg/L O ₂)	Azoto total (mg/L N)
P1	9,29	8,5	10	9	4	5
P2	11,86	7,92	1	12	4	5
P3	9,28	8,35	5	9	4	5
P4	9,63	7,87	7	13	5	5
P5	9,75	7,82	8	16	6	5
P6	11,03	8,22	12	17	6	20
P7	9,66	8,51	4	9	4	5
P8	9,54	7,6	7	9	4	5
P9	10,11	8,24	7	46	10	17
P10	10,57	7,71	8	9	4	5
P11	9,94	7,57	6	16	5	5
P12	10,64	7,81	2	12	5	5

Tabela XV - Resultados da 1ª campanha de amostragem

Amostras	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	Salinidade (mg/L)	Fósforo total (mg/L P)
P1	40	9,95	64	0,03	1
P2	230	7,41	306	0,15	1
P3	60	10,7	68	0,03	1
P4	60	10,27	69	0,03	1
P5	80	10,16	68	0,03	1
P6	1200	9,35	342	0,16	2
P7	60	10,17	68	0,03	1
P8	100	11,22	66	0,03	1
P9	80	10,34	71	0,03	1
P10	50	10,27	66	0,03	1
P11	3600	9,19	69	0,03	1
P12	130	9,54	68	0,03	1

Tabela XVI - Resultados da 2ª campanha de amostragem

Amostras	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	CQO (mg/L O ₂)	CBO ₅ (mg/L O ₂)	Azoto total (mg/L N)
P1	15	7	4	26	6	5
P2	16	6,7	7	26	6	16
P3	16	7	4	26	4	5
P4	15	7	3	13	4	5
P5	15	6,9	3	9	4	5
P6	17	5,5	48	56	16	42
P7	14	6,9	11	20	6	5
P8	15	7	3	18	5	6
P9	14	7	3	18	4	7
P10	19	7,2	4	16	4	12
P11	15	6,9	6	20	5	10
P12	12	7	16	16	4	8

Tabela XVII - Resultados da 2ª campanha de amostragem

Amostras	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	Salinidade (mg/L)	Fósforo total (mg/L P)
P1	140	5,91	61	0,03	0,01
P2	1200	0,62	478	0,23	0,02
P3	830	6,1	69	0,03	0,01
P4	590	6,21	67	0,03	0,01
P5	250	6,89	66	0,03	0,01
P6	600	4,19	691	0,34	0,02
P7	410	6,66	69	0,03	0,01
P8	230	6,55	67	0,03	0,01
P9	340	6,58	67	0,03	0,01
P10	360	7,16	67	0,03	0,01
P11	150	6,27	64	0,03	0,01
P12	0	8,53	61	0,03	0,01

Tabela XVIII - Resultados da 3ª campanha de amostragem

Amostras	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	CQO (mg/L O ₂)	CBO ₅ (mg/L O ₂)	Azoto total (mg/L N)
P1	18	7	2	9	4	5
P2	18	6,9	24	260	130	36
P3	18	7,2	3	9	4	5
P4	18	7,2	2	9	4	5
P5	18	7	2	9	4	5
P6	18	6,5	9	37	9	5
P7	18	6,9	3	10	4	5
P8	18	7	1	20	6	5
P9	18	7	2	10	4	5
P10	18	7,1	1	9	4	5
P11	18	6,8	3	20	6	5
P12	18	6,9	2	17	5	5

Tabela XIX - Resultados da 3ª campanha de amostragem

Amostras	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	Salinidade (mg/L)	Fósforo total (mg/L P)
P1	120	6,31	78	0,04	1
P2	4200	3,34	1051	0,52	5
P3	6200	5,69	119	0,06	1
P4	610	5,66	109	0,05	1
P5	3600	4,12	875	0,43	1
P6	1800	5,79	91	0,04	1
P7	700	6,54	94	0,04	1
P8	80	6,33	85	0,04	1
P9	1800	6,28	89	0,04	1
P10	140	4,76	75	0,03	1
P11	400	6,94	86	0,04	1
P12	1000	6,47	78	0,04	1

Quando comparados os valores da tabela XIII do ponto anterior, com os resultados das tabelas XIV a XIX, para as amostras P2 (caixa à saída da ETAR de Póvoa Rio de Moinhos) e P6 (caixa à saída da ETAR de Cafede), verifica-se que na 3ª campanha de amostragem (estação seca), tendo em conta o Decreto-Lei n.º 236/98 de 01 de Agosto, são excedidos os valores dos parâmetros CBO₅ e CQO na amostra P2 (descarga da ETAR_Póvoa), sendo cumpridos sempre na amostra P6.

3.5.8 - Determinação expedita do caudal em vários segmentos da linha de água

A avaliação da qualidade de água, de um curso de água, deve ser feita tendo em conta o regime de escoamento e, em particular, o caudal que se verifica no momento da amostragem. O valor de caudal é, por exemplo, necessário na modelação matemática da qualidade da água, quer directamente, quer através das estimativas das cargas poluentes afluentes às linhas de água. A análise da relação da concentração com o caudal fornece ainda indicações importantes sobre a origem da contaminação (Vieira, 2007).

A diminuição de caudal, conjuntamente com a poluição distribuída de unidades agrícolas com tecnologias inapropriadas, o deficiente tratamento dos efluentes urbanos industriais, são as principais causas de degradação da qualidade das águas superficiais. Esta degradação reveste-se de particular importância quando os caudais superficiais, por serem diminutos, não propiciam as diluições necessárias para assegurar os processos de autodepuração natural (Elvira, 1997).

Os valores de caudal de ponta de cheia, da bacia do rio Ramalhosos referentes ao ano hidrológico estudado (2009/2010), foram determinados de forma expedita por falta de meios técnicos para a medição *in situ*, recorrendo à fórmula semi-empírica de Giandotti traduzida na seguinte expressão:

$$Q_p = \frac{\lambda \times A \times h}{T_c} \quad (3.1)$$

em que, Q_p - caudal de ponta de cheia (m^3/s);

λ - parâmetro de Giandotti, dependente da área da bacia (adimensional);

A - área da bacia (Km^2);

h - altura da precipitação máxima (mm);

e:

$$T_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1,5L}{0,80 \times \sqrt{\bar{H}}} \quad (3.2)$$

T_c - tempo de concentração da bacia hidrográfica (h);

L - Comprimento da linha de água (km);

\bar{H} - altura média da bacia (m);

A - área da bacia (m^2);

Considerando a distribuição dos pontos de amostragem pela bacia hidrográfica, identificaram-se as linhas de água, efluentes do Ramalhosos, com interesse para o estudo. Essas linhas de água, teriam que se localizar a montante de um ponto de amostragem, sendo deste modo considerados como dados de entrada pontual, no modelo matemático da qualidade da água.

Na figura 3.45, poderá ser analisada a distribuição das sub-bacias estudadas, para os efluentes da linha de água principal (rio Ramalhosos). Nas tabelas XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV e XXVI, apresenta-se o respectivo caudal de ponta de cheia, para cada uma das campanhas de recolha de amostras, com base na formulação semi-empírica de Giandotti.

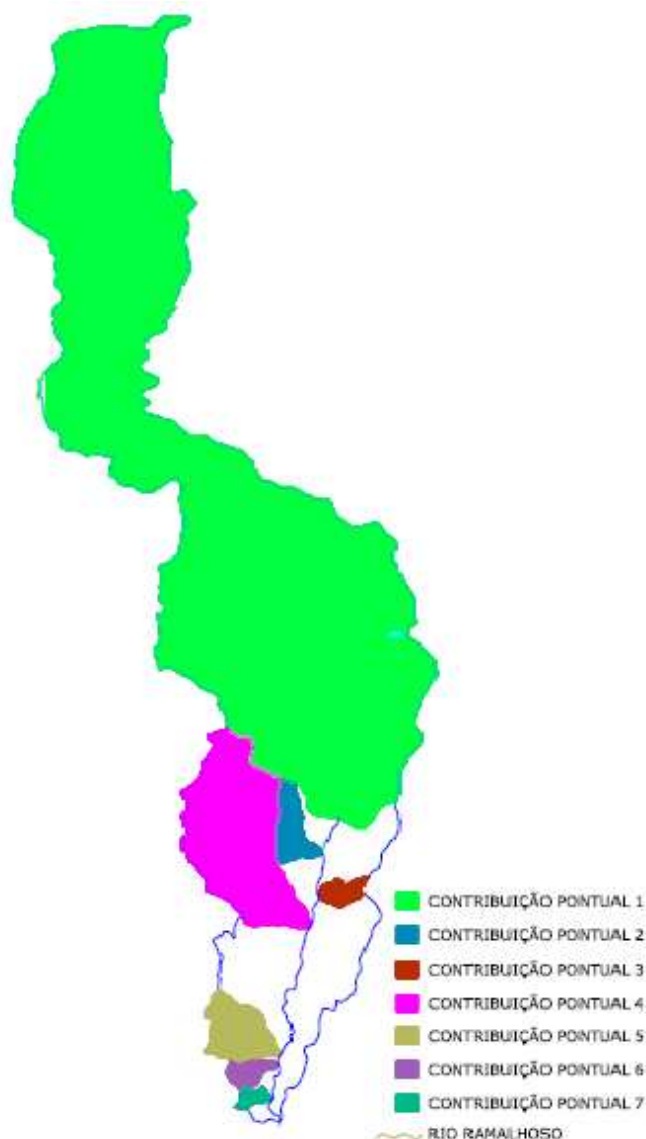


Figura 3.45 - Contribuições pontuais de caudal de sub-bacias do rio Ramalhoso.

Quanto aos valores da precipitação mensal, para o cálculo dos caudais, foram utilizados os dados da precipitação mensal, constantes na base de dados *online* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, com referência à estação udométrica do Ladoeiro.

Tabela XX - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 1, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 1					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro	7	0,346	2,62	2,75	2,31
Abril			2,03		1,79
Junho			0,34		0,30

Tabela XXI - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 2, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 2					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro	31,2	0,346	2,62	2,88	9,82
Abril			2,03		7,61
Junho			0,34		1,27

Tabela XXII - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 3, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 3					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro	0,95	0,35	2,62	1,17	0,74
Abril			2,03		0,57
Junho			0,34		0,10

Tabela XXIII - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 4, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 4					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro	0,619	0,346	2,62	0,938	0,60
Abril			2,03		0,46
Junho			0,34		0,08

Tabela XXIV - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 5, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 5					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro	4,94	0,346	2,62	2,21	2,03
Abril			2,03		1,57
Junho			0,34		0,26

Tabela XXV - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 6, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 6					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro			2,62		0,6454
Abril	1,132	0,346	2,03	1,59	0,5001
Junho			0,34		0,0838

Tabela XXVI - Caudal de ponta de cheia para a contribuição pontual 7, referente às três campanhas.

Caudal Sub-Bacia 7					
Mês	Área (km ²)	λ	Precipitação h (mm)	Tempo de concentração -T _c (h)	Caudal - Q _p (mm)
Janeiro			2,62		0,53
Abril	0,4778	0,346	2,03	0,822	0,41
Junho			0,34		0,07

4. Modelação matemática

4.1 - Objectivos

O planeamento e a gestão dos recursos hídricos não se limitam à identificação dos problemas específicos da água, abrangendo também as questões ligadas a outros recursos naturais e a sua relação com a dinâmica socioeconómica da região. A definição estratégica de prioridades tem como objectivo estabelecer uma hierarquia para o uso da água (urbano, industrial, agrícola, recreativo ou energético) nos diversos trechos da bacia (Vieira, 2007).

Neste trabalho consideraram-se unicamente dados relativos a fontes de poluição pontuais na bacia do rio Ramalhão. Não foi possível caracterizar, de forma rigorosa tanto as fontes de poluição distribuída bem como a auto-depuração da linha de água.

As colheitas efectuadas, tal como foi dito anteriormente, foram efectuadas de modo a obter uma malha uniforme ao longo de diferentes fases do ciclo hidrológico (3 campanhas ao longo do ano hidrológico), permitindo uma caracterização espaço-temporal da qualidade da água no rio Ramalhão.

Na qualidade da água, têm influência diversos factores, nomeadamente o clima, a estação do ano, o caudal, o tipo de contaminantes presentes, que combinados, dão origem a diversos cenários.

Avaliar vários cenários para identificar as medidas preventivas e/ou correctivas acertadas e os piores cenários em termos de qualidade da água. O recurso a ferramentas de modelação matemática é a melhor opção para atingir esse objectivo (Vieira, 2007).

4.2 - Escolha do modelo matemático

A definição de um modelo adequado, depende da finalidade da sua utilização. A definição dos objectivos é o primeiro passo para o desenvolvimento do ajuste a ser efectuado pela modelação, sendo que em alguns casos, os objectivos apenas serão atingidos com a utilização de diversos modelos, devidamente combinados.

Assim, a selecção do(s) modelo(s) poderá ser baseada em critérios como: financeiros; facilidade de aplicação do modelo; precisão pretendida; tipos de poluentes como dados de entrada; bibliografia disponível e os resultados obtidos por outros utilizadores. A selecção e aplicação de um modelo, faz parte da estruturação e análise de uma bacia hidrográfica. O envolvimento das partes interessadas no processo de selecção do modelo pode ajudar na

aceitação dos resultados obtidos por simulação e ainda influenciar as decisões que venham a ser tomadas com base nos resultados determinados (Fonte: United States Environmental Protection Agency).

Dois aspectos devem ser tomados em consideração: a fiabilidade e a complexidade do modelo, ou seja, um modelo simples será adequado para análise de impactes estáticos, um modelo com mais dados de entrada (mais complexo) é necessário para avaliar problemas de saúde pública, por exemplo (Chapra, 2003).

Ainda em relação à selecção do(s) modelo(s), é descrito por alguns autores (Von Sperling, 2007) que deverão apresentar as seguintes características:

- Coerência racional: deve existir coerência da transcrição efectuada entre os objectos ou fenómenos percebidos e a sua tradução na linguagem teórica escolhida;
- Ajuste aos dados experimentais: é expectável que o modelo consiga gerar resultados que se aproximem dos dados experimentais. No entanto, o simples ajuste a um conjunto de dados não será suficiente para a adequabilidade do modelo;
- Unidade e identificabilidade: será possível construir modelos distintos, representando o mesmo fenómeno, mas a justificação da adopção de determinado modelo, não deve ser baseado apenas no ajuste aos dados experimentais, obtendo um conjunto único de parâmetros (identificabilidade). Deve ter-se em conta o facto de modelos ambientais poderem ser complexos e com pouca identificabilidade;
- Minimalista: o conceito minimalista tem a ver com o facto de que um modelo simples é bom, e não é necessário um modelo complexo. O minimalismo tem a ver com a economia dos recursos utilizados (mínimo de variáveis e de parâmetros). Este princípio não procura a redução da complexidade, mas sim a redução prudente da redundância;
- Falsificabilidade: concede a possibilidade de invalidar hipóteses. Uma hipótese é falseada quando a lógica autoriza a existência de um enunciado ou uma série de enunciados de observação que lhes seriam contraditórios. Todas as hipóteses devem satisfazer esta condição fundamental para adquirirem o *status* da Lei ou Teoria científica. No caso da modelação matemática de sistemas ambientais, os meios experimentais disponíveis podem não ser suficientes para demonstrar a inadequação de uma formulação;
- Poder de previsão: os critérios descritos anteriormente dizem respeito à coerência entre a razão do modelo e as observações utilizadas na sua construção. O poder da previsão é relacionado com a extensão do seu domínio de validação. Quanto maior o campo de aplicação do modelo, maior a sua justificação.

4.3 - Modelação matemática - breve estado da arte

De acordo com o descrito por Chapra (1999) os modelos matemáticos de qualidade da água têm-se desenvolvido, desde os últimos anos do século vinte, com o seguinte historial:

Os primeiros modelos focavam-se nos problemas das descargas de esgoto urbano, Streeter e Phelps (1925), foram os pioneiros a aventurarem-se na modelação matemática. Posteriormente, foram surgindo trabalhos de investigação sobre os níveis de oxigénio na água, outros relacionados com bactérias e patogénicos.

A evolução informática, permitiu um avanço considerável nos modelos e consequente aplicação. Nos anos 70 nasceu um movimento ambiental e alterou a consciência ecológica, alterando significativamente os modelos existentes que se focavam apenas nos parâmetros: oxigénio dissolvido e cargas poluentes pontuais de esgoto urbano.

O problema da eutrofização após a revolução industrial, levou a que os investigadores alterassem a abordagem à modelação, tentando inserir nos seus modelos processos ecológicos, com recurso à utilização de reacções cinéticas não lineares.

Assim, foi dada grande importância às cargas poluentes distribuídas pois contribuem para um incremento de nutrientes nas linhas de água. Tal como foi dito anteriormente, o fenómeno de transporte pelo escoamento superficial de poluentes deverá ser bem estudado antes da adopção de qualquer modelo, devendo ser adoptados critérios de validação e estudos de campo sempre que possível.

Em 1996, Drole e Koncan procederam à modelação da qualidade da água no rio Sava, na Eslovénia, usando o QUAL2E (modelo unidimensional que simula em condições de fluxo permanente, capaz de contabilizar efeitos de variações meteorológicas).

Em Portugal no Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Lis (2001), foi utilizado o modelo QUAL2E, para modelação matemática da qualidade da água da bacia. A calibração do modelo foi efectuada para os parâmetros CBO₅, OD, Azoto e Fósforo. Os dados gerados pelo modelo, mostraram grande proximidade com as observações, com discrepâncias acentuadas nos períodos de maior caudal.

Em 2002, Park e Lee, utilizaram o QUAL2E, tendo introduzido alterações na estrutura computacional do modelo, inserindo parâmetros adicionais, como a conversão da mortalidade de algas em CBO, desnitrificação e alteração no OD, causada por plantas fixas. Estas alterações conduziram a uma evolução para novo modelo QUAL2K, que foi calibrado e comparado com o QUAL2E.

Em 2004, Pelletier e Bilhimer, simularam o efeito de descargas diárias em diferentes parâmetros de qualidade (temperatura, OD, CBO, P, N e condutividade) para o rio Stillagnamish, Washington, recorrendo ao algoritmo genético de calibração (Pelletier *et al.*, (2006).

Em 2007 Karmel *et al.*, aplicaram o modelo QUAL2Kw à modelação da qualidade da água no rio Bagmati, Nepal.

Em Portugal Vieira (2007) utilizou o QUAL2Kw na avaliação da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Lis.

Actualmente, o QUAL2Kw, é mantido actualizado pelo Department of Ecology State of Washington, nos Estados Unidos da América.

4.4 - Descrição do modelo

O QUAL2Kw é um sistema de modelação para TMDL's - Total Maximum Daily Local - que poderá ser traduzido como carga máxima total diária. O sistema determina a quantidade máxima de carga poluente que uma linha de água pode receber e ainda cumprir com os padrões de qualidade da água.

Modelos matemáticos deste tipo, são extensivamente utilizados para o planeamento e gestão da qualidade da água, no intuito de prever variações da qualidade da água, que possam ocorrer, em resposta ao incremento da carga poluente.

O QUAL2Kw, baseia-se em equações diferenciais ordinárias para sistemas fluviais unidimensional e de fluxo constante, podendo ser utilizado para simular o comportamento de diversos indicadores e parâmetros de qualidade da água (Brito, 2008).

O modelo inclui um algoritmo genético PIKAIA para calibrar as taxas cinéticas dos parâmetros, optimizando os valores pela comparação entre os dados previstos e os observados. Esta optimização é determinada automaticamente pela raiz quadrada da média dos erros quadráticos (RMSE), da diferença entre os valores esperados e os valores observados, no qual resulta um melhor ajuste, numa aplicação do modelo quando comparado com os dados observados (Charbonneau *et al.*, 1995; Pelletier, Chapra *et al.*, 2006).

4.4.1 - Segmentação

O modelo considera toda a extensão da linha de água com características hidráulicas constantes em todos os trechos, como por exemplo a inclinação das margens e a largura do leito.

Na figura 4.1 está representada a divisão de uma linha de água em trechos que estão numerados em ordem crescente, sendo que ao primeiro corresponde a cumeada.

Como se pode verificar, o modelo permite liberdade de posicionamento em qualquer trecho as entradas, (fontes pontuais e fontes distribuídas) bem como as saídas (saída pontual e saída distribuída).

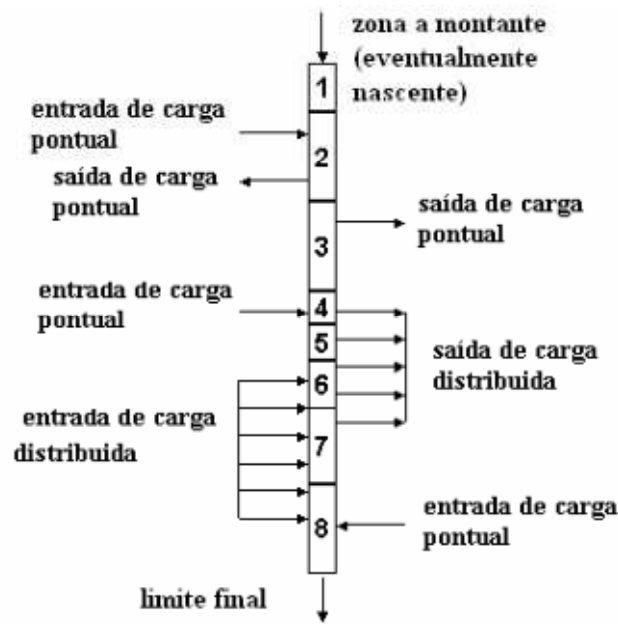


Figura 4.1 - Esquema de segmentação da linha de água sem afluentes (Fonte: Adaptado de Chapra *et al.*, 2006)

4.4.2 - Balanço de massa

Em cada segmento é realizado um balanço de massa, considerando o escoamento em regime permanente, traduzido pelo seguinte:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (4.1)$$

em que, Q_{i-1} [m^3/d] é o caudal de entrada do trecho a montante $i-1$; $Q_{in,i}$ (m^3/d) é o caudal que entra devido a cargas pontuais e difusas; $Q_{out,i}$ (m^3/d) é o caudal que sai do trecho devido a extracções pontuais e difusas e Q_i (m^3/d) é o caudal de saída do trecho i para o trecho a jusante $i+1$ (figura 4.2).

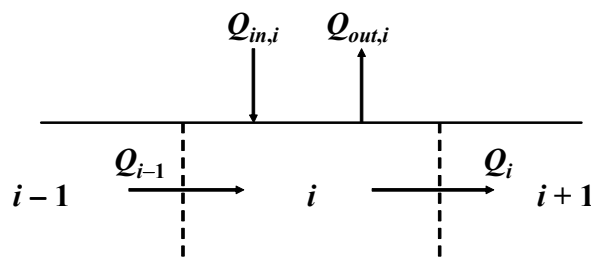


Figura 4.2 - Balanço de massa no ponto de mistura (Fonte: Chapra *et al.*, 2006)

O balanço total de cargas é representado por:

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad (4.2)$$

em que, $Q_{ps,i,j}$ = carga pontual j que entra no trecho i (m^3/d); psi = número total de cargas pontuais que entram no trecho i ; $Q_{nps,i,j}$ = carga difusa j que entra no trecho i (m^3/d) e $npsi$ = número total de cargas difusas que entram no trecho i .

O balanço total do caudal relativo às extracções traduz-se pela expressão:

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \quad (4.3)$$

em que, $Q_{pa,i,j}$ = caudal de extracção pontual j no trecho i (m^3/d); pai = número total de extracções de cargas pontuais do trecho i ; $Q_{npa,i,j}$ = caudal de extracção difuso j no trecho i (m^3/d) e $npai$ = número total de extracções difusas do trecho i .

As fontes de carga distribuída e extracções são modeladas como se indica na figura 4.3, sendo a fonte de carga distribuída ou extracção demarcada pelos pontos iniciais e finais do segmento. O caudal é distribuído ao longo de cada trecho de uma forma ponderada.

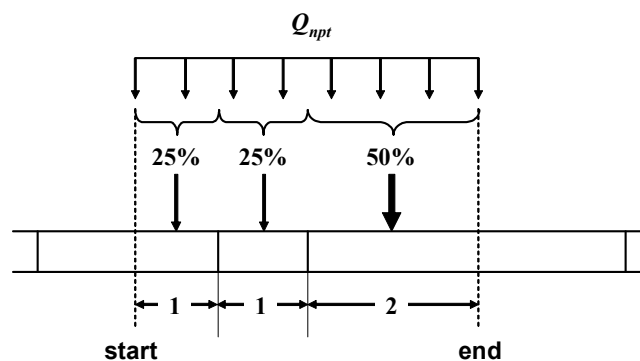


Figura 4.3 - Representação esquemática da carga distribuída (Fonte: Chapra *et al.*, 2006).

Depois de obtido o caudal de saída de cada trecho, a profundidade e a velocidade podem ser calculadas por três métodos diferentes (albufeiras, curvas chave h vs Q , e Manning). Neste caso apresenta-se a forma de cálculo utilizada, recorrendo à equação de Manning.

4.4.3 - Características hidráulicas

Cada trecho do rio é idealizado como um canal trapezoidal como se apresenta na figura 4.4. Para fluxo permanente, a equação de Gauckler-Manning-Strickler pode ser usada para expressar a relação entre o caudal e a profundidade:

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{A_c^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (4.4)$$

em que, Q = caudal (m^3/s), S_0 = inclinação do fundo do canal (m/m), n = coeficiente de rugosidade ou factor de Manning, A_c = área de secção transversal (m^2), e P = perímetro molhado (m).

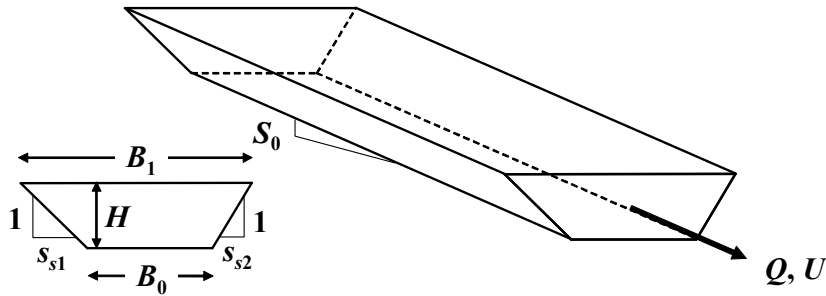


Figura 4.4 - Canal trapezoidal (Fonte: Chapra *et al.*, 2006).

A área de secção transversal de um canal trapezoidal é determinada através da seguinte expressão:

$$A_c = [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H]H \quad (4.5)$$

em que, B_0 = largura da base da secção transversal da linha de água (m), s_{s1} e s_{s2} = inclinações dos taludes laterais (m/m) e H = profundidade da água (m).

O perímetro molhado é determinado da seguinte forma:

$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \quad (4.6)$$

Após substituir as equações (4.5) e (4.6) na equação (4.4), esta pode ser resolvida para determinar a profundidade (Chapra e Canale, 2006),

$$H_k = \frac{(Qn)^{3/5} \left(B_0 + H_{k-1} \sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H_{k-1} \sqrt{s_{s2}^2 + 1} \right)^{2/5}}{S^{3/10} [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H_{k-1}]} \quad (4.7)$$

em que, $k = 1, 2, \dots, n$ ($n =$ número das iterações). O método iterativo termina quando o erro estimado seja inferior a um valor especificado (0,001 %). O erro estimado é calculado da seguinte forma:

$$\varepsilon_a = \left| \frac{H_{k+1} - H_k}{H_{k+1}} \right| \times 100\% \quad (4.8)$$

A velocidade pode ser determinada através da equação de continuidade:

$$U = \frac{Q}{A_c} \quad (4.9)$$

e a largura média do fundo do canal, B (m), pela expressão:

$$B = \frac{A_c}{H} \quad (4.10)$$

4.4.4 - Tempo de passagem

O tempo de residência em cada trecho é determinado pela seguinte expressão:

$$\tau_k = \frac{V_k}{Q_k} \quad (4.11)$$

em que, $t_k =$ tempo de residência no segmento k (d), $V_k =$ volume do segmento k (m^3), igual a $A_{c,k} \cdot D_{xk}$, sendo D_{xk} o comprimento do segmento k (m). Estes tempos são acumulados para determinar o tempo de passagem a montante até jusante de cada trecho i :

$$t_{t,j} = \sum_{k=1}^j \tau_k \quad (4.12)$$

4.4.5 - Dispersão longitudinal

A fórmula utilizada para determinar a dispersão é baseada nas características hidráulicas do canal (Fischer *et al.*, 1979):

$$E_{p,i} = 0.011 \frac{U_i^2 B_i^2}{H_i U_i^*} \quad (4.13)$$

em que, $E_{p,i}$ = dispersão longitudinal entre os trechos i e $i + 1$ (m^2/s), U_i = velocidade (m/s), B_i = largura (m), H_i = profundidade média (m) e U_i^* = velocidade de corte (m/s), calculada pela expressão:

$$U_i^* = \sqrt{gH_i S_i} \quad (4.13)$$

onde g = aceleração da gravidade [$9,81 m/s^2$] e S = inclinação do canal (m/m).

A dispersão numérica é calculada como:

$$E_{n,i} = \frac{U_i \Delta x_i}{2} \quad (4.14)$$

A dispersão E_i (a utilizar nos cálculos do modelo) é fixada da seguinte forma:

- Se $E_{n,i} \leq E_{p,i}$, a dispersão do modelo $E_i = E_{p,i} - E_{n,i}$;
- Se $E_{n,i} > E_{p,i}$, a dispersão do modelo $E_i = 0$;

Para o último caso, a dispersão resultante será maior do que a dispersão real.

4.4.6 - Constituintes do modelo

A simulação dos constituintes da qualidade da água presente na zona hiporreica é opcional no QUAL2Kw (3 opções disponíveis).

- Sem simulação da zona hiporreica: transferência de massa entre a coluna de água, água intersticial hiporreica e a cinética da qualidade da água intersticial não são simuladas;

- Nível 1: a simulação de 1ª ordem na oxidação da CBOC rápida com atenuação da CBOC e oxigénio dissolvido, a zona hiporreica dos sedimentos;
- Nível 2: simulação de crescimento do biofilme de bactérias heterotróficas (ordem zero ou primeira ordem), respiração, oxigénio dissolvido, amónia, nitrato e fósforo inorgânico na zona hiporreica intersticial dos sedimentos.

Neste estudo seleccionou-se na folha excell “Rates” a opção *nível 1*: simulação da oxidação rápida de CBOC usando uma cinética de ordem zero ou de primeira ordem com atenuação de CBOC e Oxigénio Dissolvido na zona hiporreica dos sedimentos.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (4.15)$$

em que, W_i = entrada externa do constituinte no trecho i (mg/d) e S_i = ganhos e perdas de constituinte devido a reacções e a mecanismos de transferência de massa (mg/m³/d).

A permuta de massa entre a superfície de água e a zona hiporreica é representada pelo fluxo de permuta hiporreica no trecho i :

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} c_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} c_{npsi,j} \quad (4.16)$$

em que, $c_{ps,i,j}$ é a concentração de entrada no elemento j , proveniente de fonte pontual i (mg/L ou µg/L) e $c_{nps,i,j}$ é a concentração no elemento j , proveniente da fonte distribuida i (mg/L ou µg/L).

O balanço de massa para um determinado constituinte, excepto para as variáveis relacionadas com as algas de fundo, é descrito para cada trecho da seguinte forma (figura 4.5):

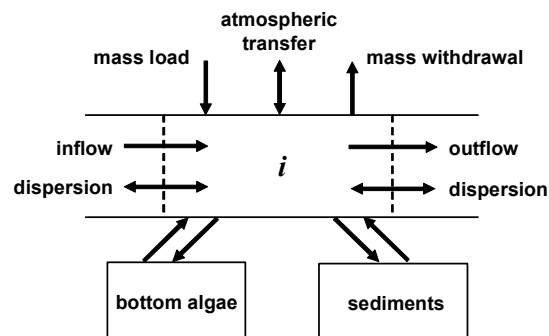


Figura 4.5 - Balanço de massa (Fonte: Chapra *et al.*, 2006)

Para os sólidos suspensos inorgânicos, fitoplâncton e detritos sedimentados assume-se que são depositados da coluna de água para os sedimentos na zona de diagénese e não entram na água dos poros da zona hiporreica uma vez que a permuta hiporreica não ocorre em áreas de deposição de sedimentos finos. O sub-modelo de diagénese dos sedimentos considera o metabolismo anaeróbio do material depositado nos sedimentos. O sub-modelo hiporreico considera o metabolismo aeróbio das bactérias heterotróficas na zona hiporreica. Os materiais suspensos são transportados para a água através dos poros da zona hiporreica (Vieira, 2008).

Os ganhos e perdas para as variáveis de estado são apresentados na figura 4.6 (é de referir que os níveis internos de azoto e fósforo nas algas de fundo não são descritos). O processo de interacção entre as variáveis de estado foi descrito de forma detalhada por Pelletier e Chapra (Pelletier *et al.*, 2005).

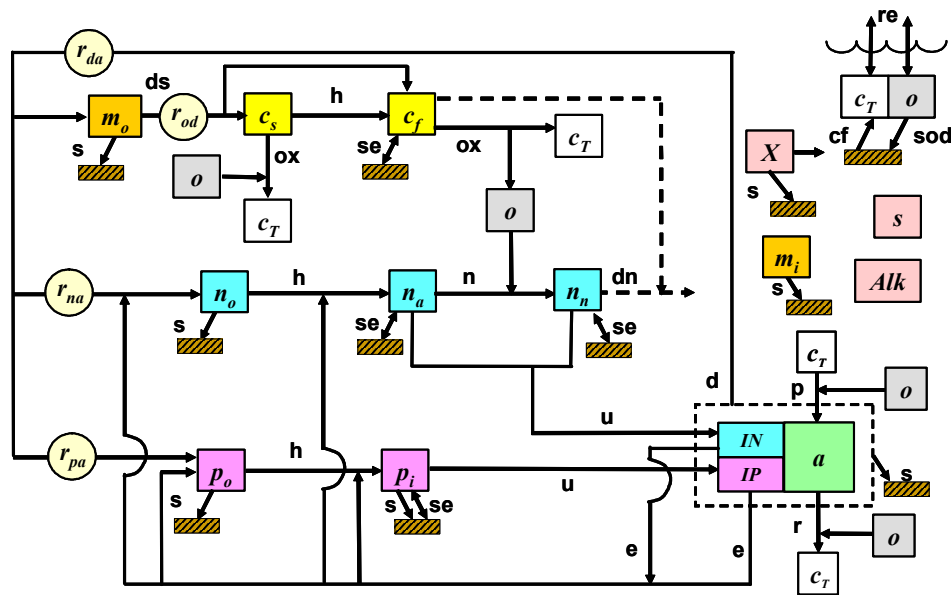


Figura 4.6 - Modelo cinético e processo de transferência de massa. Processos cinéticos são: dissolução (ds), hidrólise (h), oxidação (x), nitrificação (n), desnitrificação (dn), fotossíntese (p), morte (d), e respiração/excreção. Processos de transferência de massa: rearejamento (re), sedimentação (s), carência de oxigênio dos sedimentos (COS), permuta nos sedimentos (se) e fluxo de carbono inorgânico nos sedimentos (cf). O subscripto x para as conversões estequiométricas é relativo à clorofila-a (a) e peso seco (d) para o fitoplâncton e algas do fundo, respectivamente. (Fonte: Adaptado Chapra *et al.*, 2006)

Para além das variáveis de estado do modelo, o QUAL2Kw também apresenta outras variáveis compostas que são calculadas da seguinte forma:

Carbono Orgânico Total (mgC/L):

$$TOC = \frac{c_s + c_f}{r_{oc}} + r_{ca} a_p + r_{cd} m_o \quad (4.17)$$

Azoto Total (µgN/L):

$$TN = n_o + n_a + n_n + IN_p \quad (4.18)$$

Fósforo Total ($\mu\text{gP/L}$):

$$TP = p_o + p_i + IP_p \quad (4.19)$$

Azoto Total de Kjeldahl ($\mu\text{gN/L}$):

$$TKN = n_o + n_a + IN_p \quad (4.20)$$

Sólidos Suspensos Totais (mgD/L):

$$TSS = r_{da}a_p + m_o + m_i \quad (4.21)$$

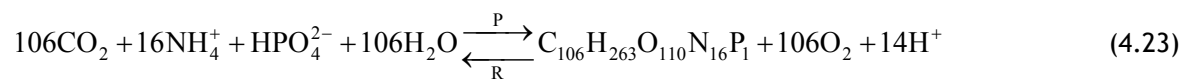
CBOC última (mgO_2/L):

$$CBOD_u = c_s + c_f + r_{oc}r_{ca}a_p + r_{oc}r_{cd}m_o \quad (4.22)$$

4.4.7 - Reacções fundamentais

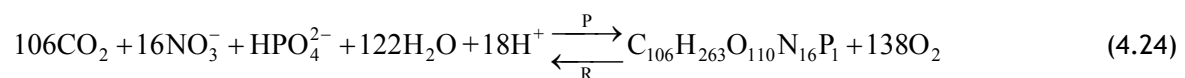
As equações químicas que representam a maioria das reacções bioquímicas que ocorrem no modelo são (Stumm e Morgan, 1996):

Amónio como substrato:



em que, P - fotossíntese e R - respiração.

Nitrato como substrato:



Nitrificação:



Desnitrificação:



4.4.8 - Reacções estequiométricas

O modelo requer que a relação estequiométrica referente à matéria orgânica (ex: fitoplâncton e detritos) seja especificada pelo utilizador. O modelo sugere a seguinte relação, como uma primeira aproximação (Redfield *et al.*, 1963; Chapra, 1997):

$$100 \text{ gD} : 40 \text{ gC} : 7200 \text{ mgN} : 1000 \text{ mgP} : 1000 \text{ mgA} \quad (4.27)$$

Os termos D, C, N, P e A referem-se, respectivamente, a matéria orgânica (peso seco), carbono, azoto, fósforo e clorofila-*a*. Refira-se que a clorofila-*a* é o parâmetro com o maior intervalo de variação (500-2000 mgA) (Laws e Chalup, 1990; Chapra, 1997).

Estes valores são depois combinados para determinar as razões estequiométricas:

$$r_{xy} = \frac{\text{gX}}{\text{gY}} \quad (4.28)$$

em que, X = massa do elemento X (g) e Y = massa do elemento Y (mg).

Por exemplo, a quantidade de detritos (em peso seco) que é libertada devido à morte de 1 mg de fitoplâncton pode ser calculada como:

$$r_{da} = \frac{100 \text{ gD}}{1000 \text{ mgA}} = 0.1 \frac{\text{gD}}{\text{mgA}} \quad (4.29)$$

O modelo requer que sejam introduzidas as taxas de consumo e produção de oxigénio. Se o azoto amoniacal é o substrato, pode ser usada a seguinte razão (baseada na Equação 4.23) para determinar a quantidade de oxigénio produzido por grama de biomassa produzida através da fotossíntese:

$$r_{oca} = \frac{106 \text{ moleO}_2 (32 \text{ gO}_2/\text{moleO}_2)}{106 \text{ moleC} (12 \text{ gC}/\text{moleC})} = 2.67 \frac{\text{gO}_2}{\text{gC}} \quad (4.30)$$

Se o nitrato é o substrato, calcula-se a seguinte razão (baseada na Equação 4.24):

$$r_{ocn} = \frac{138 \text{ moleO}_2 (32 \text{ gO}_2/\text{moleO}_2)}{106 \text{ moleC} (12 \text{ gC}/\text{moleC})} = 3.47 \frac{\text{gO}_2}{\text{gC}} \quad (4.31)$$

A equação 4.23 também é usada para estabelecer a relação estequiométrica relativa ao oxigénio consumido na respiração das plantas. Para a nitrificação, obtém-se a seguinte razão com a equação 4.25:

$$r_{on} = \frac{2 \text{ moleO}_2 (32 \text{ gO}_2/\text{moleO}_2)}{1 \text{ moleN} (14 \text{ gN}/\text{moleN})} = 4.57 \frac{\text{gO}_2}{\text{gN}} \quad (4.32)$$

Como representado pela Equação 4.26 a CBOC é utilizada durante a desnitrificação:

$$r_{ondn} = 2.67 \frac{\text{gO}_2}{\text{gC}} \frac{5 \text{ moleC} \times 12 \text{ gC}/\text{moleC}}{4 \text{ moleN} \times 14 \text{ gN}/\text{moleN}} \times \frac{1 \text{ gN}}{1000 \text{ mgN}} = 0.00286 \frac{\text{gO}_2}{\text{mgN}} \quad (4.33)$$

4.5 - Efeito da temperatura

O efeito da temperatura na constante cinética das reacções de primeira-ordem é representado por:

$$k(T) = k(20)\theta^{T-20} \quad (4.34)$$

em que, $k(T)$ = constante cinética da reacção (d^{-1}) à temperatura T ($^{\circ}C$) e θ = coeficiente da temperatura para a reacção.

4.6 - Descrição do sistema modelado

O modelo tem em consideração o troço da linha de água, compreendido entre a barragem do Pisco e a foz, na confluência com o rio Ocreza, localizada a sensivelmente 10,5km a jusante.

O rio foi dividido em onze segmentos (trechos), conforme a figura 4.7. Todos com comprimento inferior a 1,50km. Relativamente ao declive longitudinal, a linha de água, varia entre 0,0012 junto à foz e 0,11 no percurso inicial.

Os pontos de monitorização encontram-se a jusante das fontes pontuais de entrada.

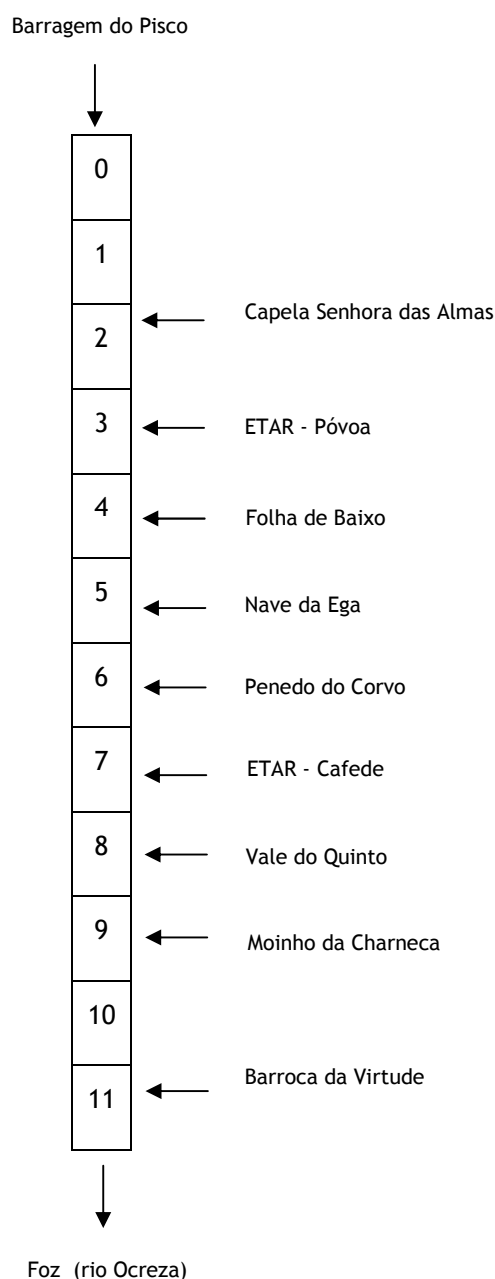


Figura 4.7 - Segmentação do rio Ramalhoso com identificação das entradas pontuais

4.7 - Calibração do modelo

O processo de calibração tem por objectivo encontrar os valores apropriados para os parâmetros do modelo. Para atingir tal objectivo é necessário seleccionar várias situações em que sejam conhecidos os valores de entrada para as variáveis seleccionadas no modelo. Os valores dos parâmetros (ver tabela xxvii) serão aqueles que, a partir dos valores de entrada, permitam ao modelo reproduzir os valores de saída (Pelletier *et al.*, 2006).

O conhecimento dos intervalos de valores admissíveis para cada parâmetro e dos valores típicos em função das características dos cursos de água é de extrema importância porque, com

os dados disponíveis, é extremamente difícil indicar, para alguns dos parâmetros de calibração, os valores específicos para o rio em causa (Pelletier *et al.*, 2006).

Tal como foi dito anteriormente, o modelo tem um algoritmo genético - PIKAIA, usado como ferramenta de optimização do seu processo de calibração, tendo sido desenvolvido por Charbonneau, 1995, para a solução de diversos problemas, nas áreas da astrofísica e da astronomia. Tem por objectivo maximizar uma função $f(x)$. Os dados cinéticos (x) são relacionados no algoritmo, numa escala de 0,0 a 1,0. Estes são sequenciados pelos valores de (x) de acordo com a interpolação linear entre os valores de máximo e mínimo, especificados pelo utilizador, de modo a optimizar cada parâmetro cinético. O valor da função $f(x)$, que rege a maximização realizada pelo algoritmo genético, corresponde à aptidão, ou adequação de determinada simulação para os parâmetros estudados.

Dentro da interface do modelo, na folha “Rates”, é possível especificar os parâmetros que pretendemos auto-calibrar, definindo para isso os intervalos de máximo e mínimo.

Tabela XXVII - Coeficientes PIKAIA - QUAL2Kw

<i>Auto-calibration genetic algorithm control:</i>		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	100	np
Generations in the evolution	100	ngen
Digits to encode genotype (<=6)	5	nd
Crossover mode (1, 2, 3, 4, 5, 6, or 7)	5	icross
Crossover probability (0-1):	0,85	pcross
Mutation mode (1, 2, 3, 4, 5, or 6)	2	imut
Initial mutation rate (0-1):	0,005	pmut
Minimum mutation rate (0-1):	0,0005	pmutmn
Maximum mutation rate (0-1):	0,25	pmutm
Relative fitness differential (0-1):	1	fdif
Reproduction plan (1, 2, or 3):	1	irep
Elitism (0 or 1):	1	ielite
Restart from previous evolution (0 or 1):	0	irestart

Onde:

seed: qualquer número inteiro que possa ser lançado como semente para geração de números aleatórios;

np: número de simulação de uma população (por defeito 100);

ngen: número de gerações de evolução, onde cada solução para a calibração automática está a evoluir (por defeito 50);

nd: número de dígitos para codificar o genótipo, ou seja, número de dígitos significativos retidos na codificação do cromossoma (por defeito 5);

icross: modo de cruzamento (por defeito 3);

pcross: probabilidade de cruzamento. Se ocorre num ou dois pontos de união. São usados com probabilidades iguais (deve ser menor ou igual a 1, sendo 0,85 por defeito);

imut: modo de mutação (por defeito 2);

pmut: probabilidade que qualquer dos genes irá sofrer mutação em qualquer geração (por defeito 0,005);

pmutmn: deve ser maior ou igual a zero (por defeito 0,0005);

fdif: varia entre 0 e 1 (por defeito 1);

irep: plano de reprodução, onde 1 é a substituição total da geração, 2 a substituição aleatória constante, 3 a substituição constante que descarta as piores criações (por defeito 1);

ielite: 1-ligado, 0-desligado, sendo aplicado somente a planos de reprodução 1 e 2 (por defeito 0).

Assim, o tempo de simulação para a auto calibração é determinado pelo número de vezes que o modelo é executado dentro de uma população (np) e o número de gerações ($ngen$), sendo o número de iterações expresso por: $np \times (ngen+1)$.

Para garantir a robustez das estimativas dos parâmetros é necessário calibrar o modelo para várias situações, que representem a variedade de cenários que o modelo terá de simular. Quanto maior e diverso o número de situações disponíveis para calibrar o modelo, maior será a confiança do utilizador nos resultados previstos pelo modelo (Pelletier *et al.*, 2006; Chapra *et al.*, 2006).

Neste estudo, foram atribuídos parâmetros ao modelo, de modo a reproduzir os valores observados em 9 pontos de amostragem (Capela da senhora da almas; Caixa-ETAR Póvoa; Folha de baixo; Nave da Ega; Penedo do corvo; Caixa-ETAR Cafede; Vale do Quinto; Moinho da Charneca e Barroca da Virtude), para as condições de tempo chuvoso (Janeiro 2010), temperado (Abril 2010) e seco (Junho de 2010).

Os parâmetros introduzidos no modelo foram: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$); Sólidos Suspensos Totais (mg/L); Óxigénio Dissolvido (mg/L); $\text{CBOC}_{\text{lenta}}$ ($\text{mg O}_2/\text{L}$); $\text{CBOC}_{\text{rápida}}$ ($\text{mg O}_2/\text{L}$); $\text{P}_{\text{orgânico}}$ ($\mu\text{g P}/\text{L}$); $\text{P}_{\text{inorgânico}}$ ($\mu\text{g P}/\text{L}$); Coliformes fecais ($\text{ufc}/100\text{ml}$) e pH (Sorensen).

O modelo simula a CBOC considerando a CBOC de reacção lenta e a CBOC de reacção rápida. A $\text{CBOC}_{\text{lenta}}$ aumenta devido à dissolução de detritos e diminui por via da hidrólise. A $\text{CBOC}_{\text{rápida}}$ aumenta por via da hidrólise da CBOC de reacção lenta e diminui por via da oxidação e desnitrificação, equações descritas em Pelletier e Chapra (2005). Como o modelo simula a CBOu, os valores de CBO_5 medidos foram convertidos em $\text{CBOC}_{\text{rápida}}$ (CBOu) usando a seguinte relação:

$$\text{CBO}_u = \frac{\text{CBO}_5}{1 - e^{-5k}} \quad (4.1)$$

Onde k = constante cinética de decomposição de CBOC (d^{-1}) (Chapra *et al.*, 2006).

Os valores de k para águas poluídas e efluentes contaminados com carbono orgânico variam na gama de $0,05 - 0,3 \text{ d}^{-1}$, conforme figura 4.8 (Chapra, 1997).

Neste estudo assumiu-se um valor de $k = 0,18 \text{ d}^{-1}$ (rácio $\text{CBOD}_u/\text{CBO}_5 = 1,7$). A CBOC_{lenta} foi determinada da seguinte forma:

$$\text{CBOC}_{lenta} = 0,90 \times \text{CQO} - \text{CBO}_{rápida} \tag{4.2}$$

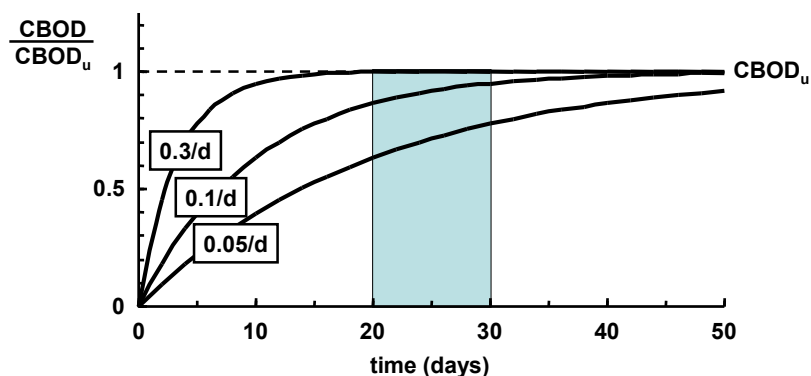


Figura 4.8 - Progressão do teste ao CBOD para vários níveis de taxa de decomposição (Fonte: Chapra *et al.*, 2006)

4.8 - Configuração do modelo

O QUAL2Kw, versão 5.1, utiliza o Excel como interface gráfica, apesar de estar escrito em linguagem FORTRAN 95.

Deste modo o utilizador tem liberdade para introduzir os parâmetros de entrada, como se pode verificar na tabela XXVIII e simular dentro do mesmo ficheiro Excel, tornando-se fácil a consulta e a análise de resultados.

Tabela XXVIII - Parâmetros de entrada (campanha de Janeiro 2010) para o rio Ramalhos.

System ID:	
River name	Rio Ramalhos
Saved file name	Ramalhos_Janeiro
Directory where file saved	
Month	1
Day	16
Year	2010

Local standard time zone	0
Daylight savings time	Yes
<i>Simulation and output options:</i>	
Calculation step	5,625 minutes
Number of days	2 days
Solution method (integration)	Euler
Solution method (pH)	Brent
Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No
Display dynamic diel output	No
State variables for simulation	All
Simulate sediment diagenesis	No
Simulate alkalinity change due to nutrient change	Yes
Program determined calc step	5,625 minutes
Time elapsed during last model run	1922,07 minutes
Time of sunrise	8:49 AM
Time of solar noon	1:39 PM
Time of sunset	6:30 PM
Photoperiod	9,68 hours

4.8.1 - Parâmetros do modelo

A gama de valores para os parâmetros cinéticos do QUAL2Kw foi obtida da literatura, incluindo o documento de referência da EPA (*Environmental Protection Agency*) (USEPA, 1985b), os valores apresentados por defeito pelo modelo (Pelletier e Chapra, 2005) e os valores descritos na modelação de rios recorrendo aos modelos QUAL2E e QUAL2E-UNCAS (Brown e Barnwell, 1987; Paliwal *et al.*, 2007), conforme se apresenta, na tabela XXIX.

O modelo de transporte Euleriano (modelo de Brent para a modelação do pH) foi usado no processo de integração devido à presença de valores muito baixos de pH, na ordem dos 5,5 para o mês de Abril, no ponto de amostragem Caixa-ETAR de Cafede.

Tabela XXIX - Parâmetros de calibração do modelo QUAL2Kw para o rio Ramalhos.

Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
<i>Stoichiometry:</i>						
Carbon	40	gC	gC	No	30	50
Nitrogen	7,2	gN	gN	No	3	9
Phosphorus	1	gP	gP	No	0,4	2
Dry weight	100	gD	gD	No	100	100
Chlorophyll	0,5	gA	gA	No	0,4	2

Inorganic suspended solids:						
Settling velocity	0,87548	m/d	v_i	Yes	0	2
Oxygen:						
Reaeration model	Owens-Gibbs			No		
Temp correction	1,024		q_a			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2,69	gO ₂ /gC	r_{oc}			
O2 for NH ₄ nitrification	4,57	gO ₂ /gN	r_{on}			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0,60	L/mg O ₂	K_{socf}	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model nitrification	Exponential					
Oxygen inhib parameter nitrification	0,60	L/mg O ₂	K_{sona}	No	0,60	0,60
Oxygen enhance model denitrification	Exponential					
Oxygen enhance parameter denitrification	0,60	L/mg O ₂	K_{sodn}	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential					
Oxygen inhib parameter phyto resp	0,60	L/mg O ₂	K_{sop}	No	0,60	0,60
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential					
Oxygen enhance parameter bot alg resp	0,60	L/mg O ₂	K_{sob}	No	0,60	0,60
Slow CBOD:						
Hydrolysis rate	4,2089	/d	k_{hc}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		q_{hc}	No	1	1,07
Oxidation rate	4,99875	/d	k_{dcs}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		q_{dcs}	No	1	1,07
Fast CBOD:						
Oxidation rate	4,9995	/d	k_{dc}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		q_{dc}	No	1	1,07
Organic N:						
Hydrolysis	0,6344	/d	k_{hn}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		q_{hn}	No	1	1,07
Settling velocity	0,9244	m/d	v_{on}	Yes	0	2
Ammonium:						
Nitrification	2,1883	/d	k_{na}	Yes	0	10
Temp correction	1,07		q_{na}	No	1	1,07
Nitrate:						
Denitrification	1,9521	/d	k_{dn}	Yes	0	2
Temp correction	1,07		q_{dn}	No	1	1,07
Sed denitrification transfer coeff	0,08072	m/d	v_{di}	Yes	0	1
Temp correction	1,07		q_{di}	No	1	1,07
Organic P:						
Hydrolysis	4,66935	/d	k_{hp}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		q_{hp}	No	1	1,07
Settling velocity	1,7642	m/d	v_{op}	Yes	0	2
Inorganic P:						
Settling velocity	0,44002	m/d	v_{ip}	Yes	0	2
Sed P oxygen attenuation half sat constant	1,8009	mgO ₂ /L	k_{spi}	Yes	0	2
Pathogens:						
Decay rate	0,8	/d	k_{dx}	No	0,8	0,8
Temp correction	1,07		q_{dx}	No	1,07	1,07
Settling velocity	1	m/d	v_x	No	1	1
alpha constant for light mortality	1	/d per ly/hr	$apath$	No	1	1
pH:						
Partial pressure of carbon dioxide	375	ppm	p_{co2}			
Hyporheic metabolism						
Model for biofilm oxidation of fast CBOD	Zero-order		<i>level 1</i>			
Max biofilm growth rate	5	gO ₂ /m ² /d or /d	"	No	0	20

Caracterização do impacto das descargas da ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos e Cafede no Rio Ocreza

Temp correction	1,047		"	No	1,047	1,047
Fast CBOD half-saturation	0,5	mg O2/l	"	No	0	2
Oxygen inhib model	Exponential		"			
Oxygen inhib parameter	0,60	L/mg O ₂	"	No	0,60	0,60
Respiration rate	0,2	/d	level 2	No	0,2	0,2
Temp correction	1,07		"	No	1,07	1,07
Death rate	0,05	/d	"	No	0,05	0,05
Temp correction	1,07		"	No	1,07	1,07
External nitrogen half sat constant	15	ugN/l	"	No	15	15
External phosphorus half sat constant	2	ugP/L	"	No	2	2
Ammonia preference	25	ugN/L	"	No	25	25
First-order model carrying capacity	100	gD/m ²	"	No	100	100
<i>Generic constituent</i>						
Decay rate	0	/d		No	0,8	0,8
Temp correction	1			No	1,07	1,07
Settling velocity	0	m/d		No	1	1
Use generic constituent as COD?	No					

4.9 - Discussão dos resultados

São apresentados os resultados da calibração efectuada para as três campanhas (figura 4.9 à figura 4.38), realizadas aos parâmetros: temperatura, condutividade, caudal, sólidos suspensos totais, oxigénio dissolvido, CBOC_{lenta}, CBOC_{rápida}, CBOD_u, coliformes fecais e pH.

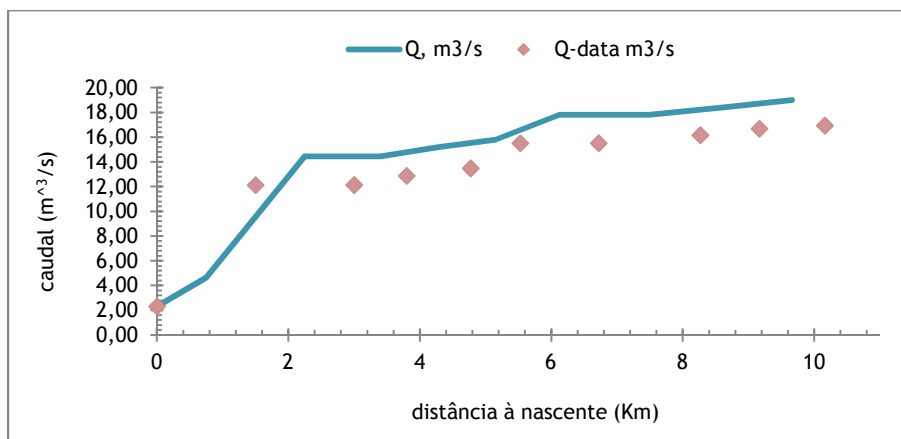


Figura 4.9 - Resultados da calibração de caudal do rio Ramalhão (Janeiro 2010)

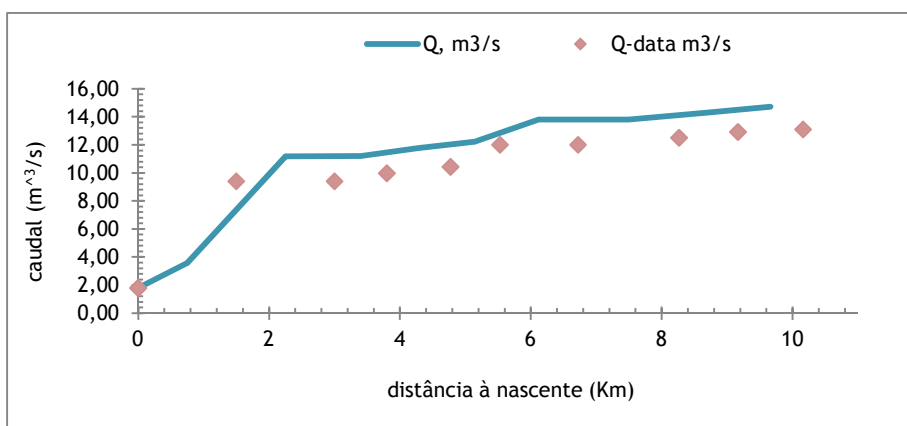


Figura 4.10 - Resultados da calibração de caudal do rio Ramalhão (Abril 2010)

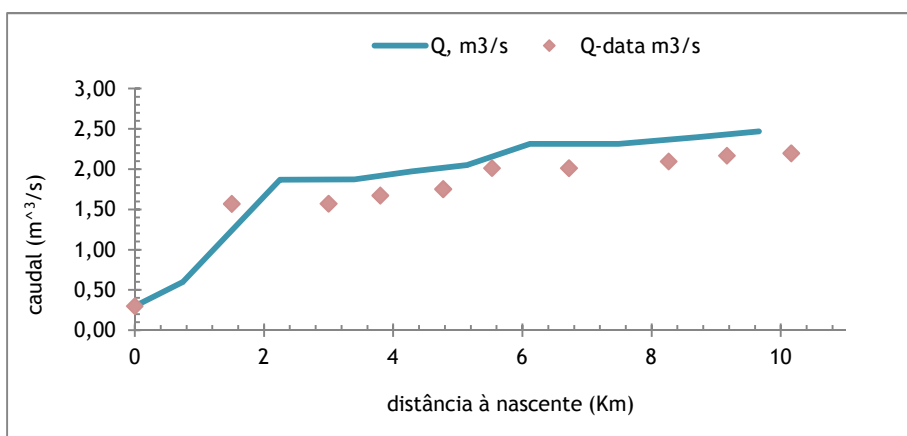


Figura 4.11 - Resultados da calibração de caudal do rio Ramalhão (Junho 2010)

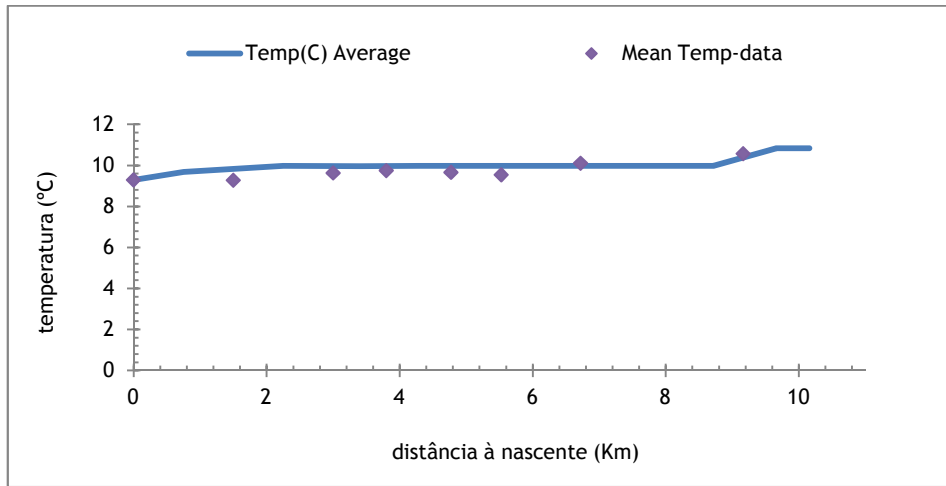


Figura 4.12 - Resultados da calibração de temperatura da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010)

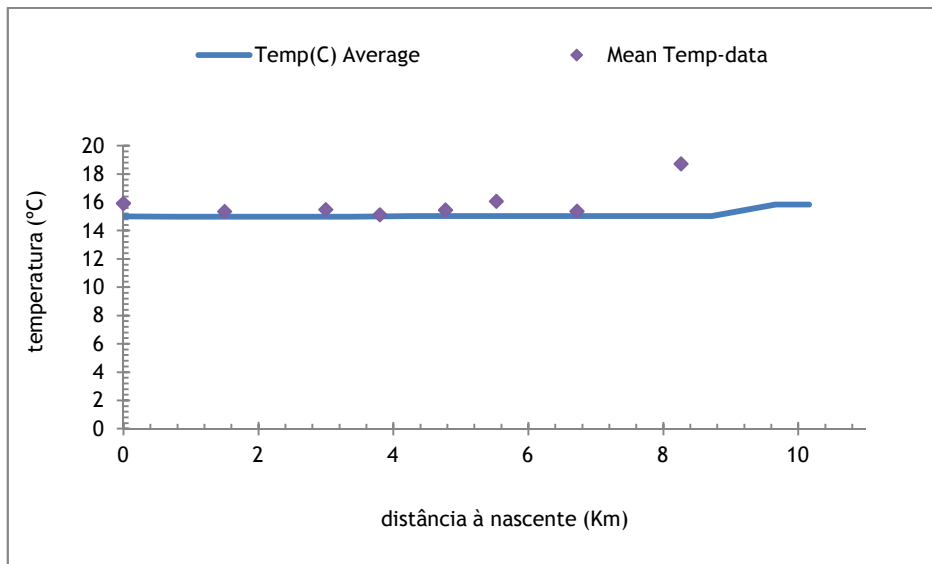


Figura 4.13 - Resultados da calibração de temperatura da água do rio Ramalhos (Abril 2010)

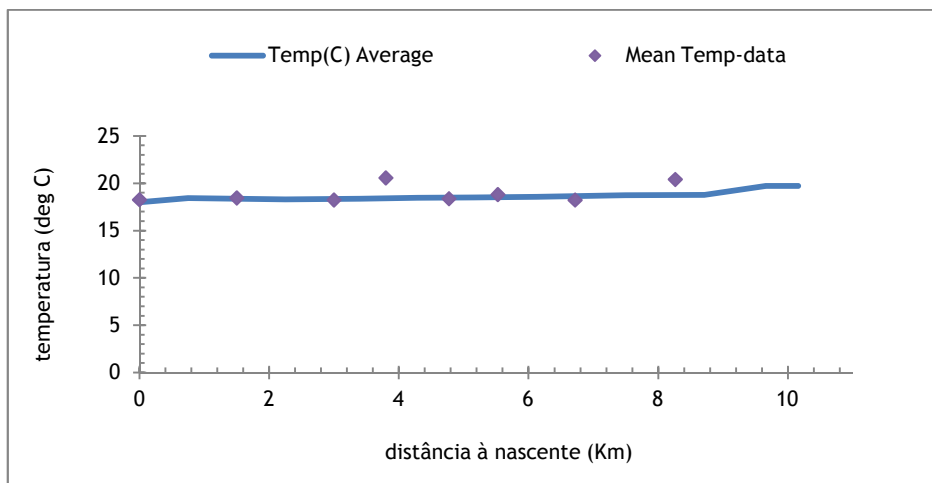


Figura 4.14 - Resultados da calibração de temperatura da água do rio Ramalhos (Junho 2010)

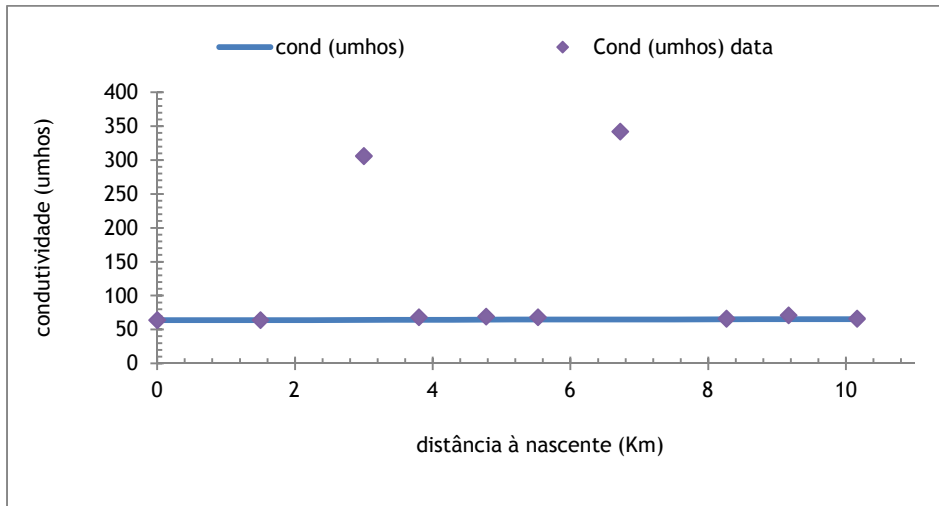


Figura 4.15 - Resultados da calibração de condutividade da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010)

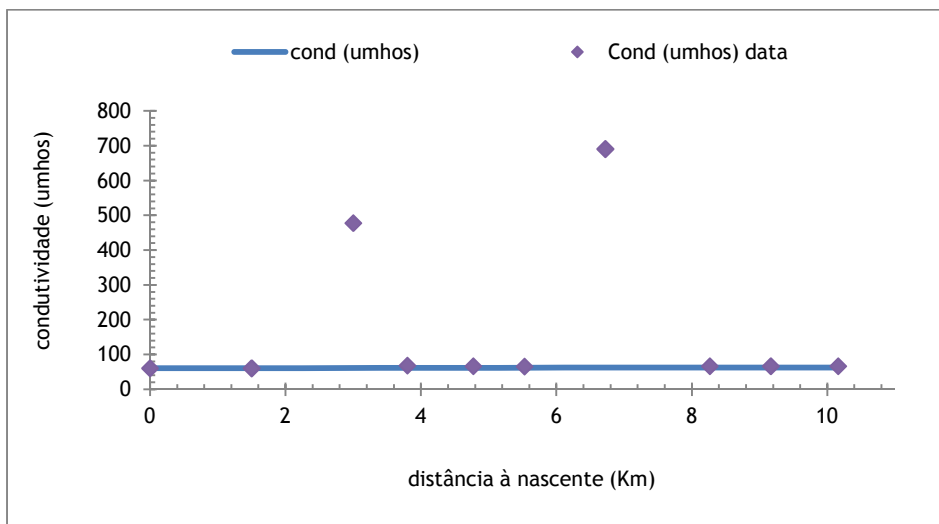


Figura 4.16 - Resultados da calibração de condutividade da água do rio Ramalhos (Abril 2010)

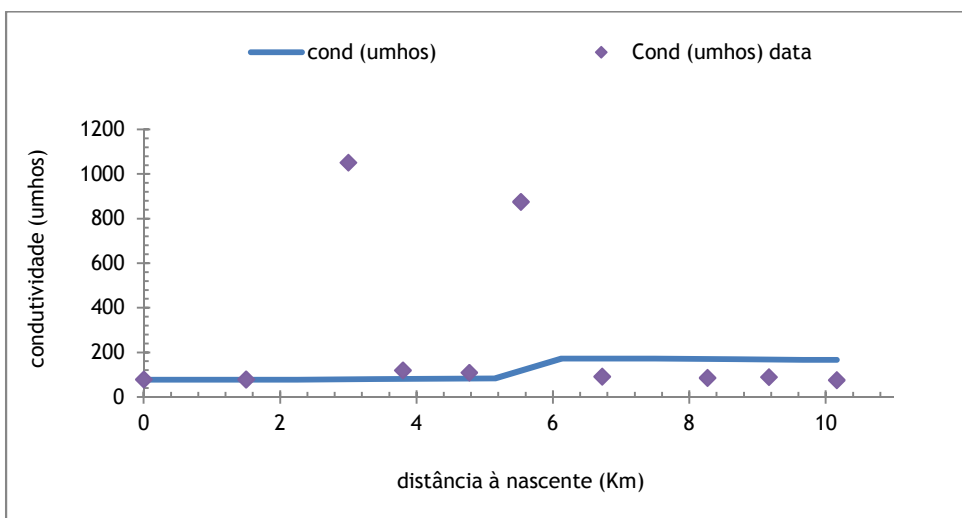


Figura 4.17 - Resultados da calibração de condutividade da água do rio Ramalhos (Junho 2010)

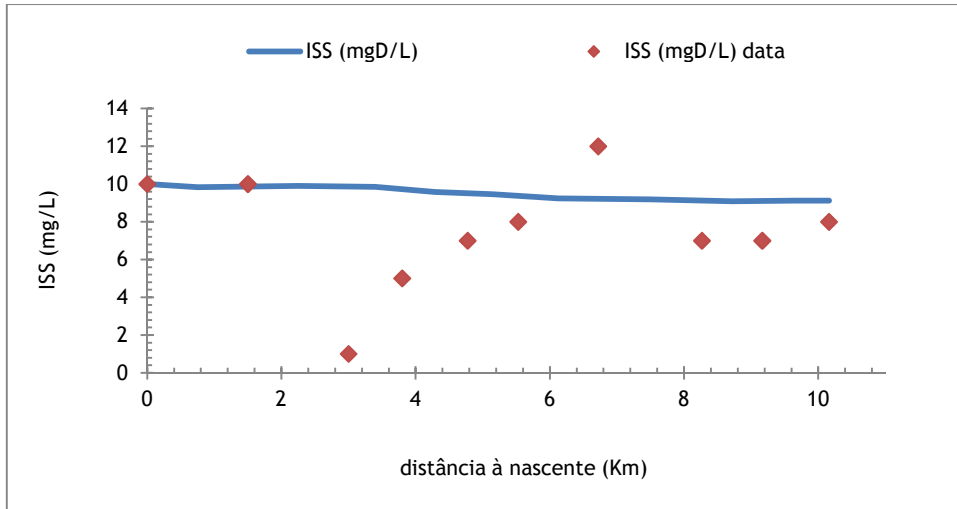


Figura 4.18 - Resultados da calibração de sólidos suspensos totais da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010)

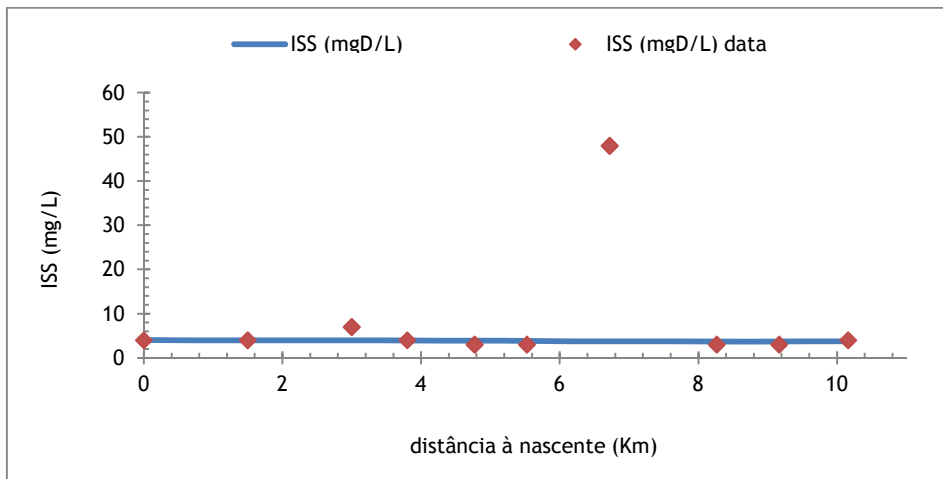


Figura 4.19 - Resultados da calibração de sólidos suspensos totais da água do rio Ramalhos (Abril 2010)

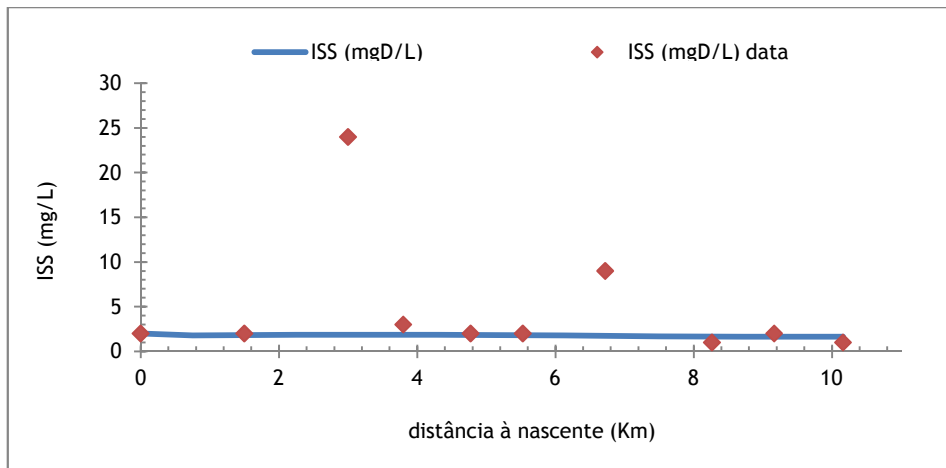


Figura 4.20 - Resultados da calibração de sólidos suspensos totais da água do rio Ramalhos (Junho 2010)

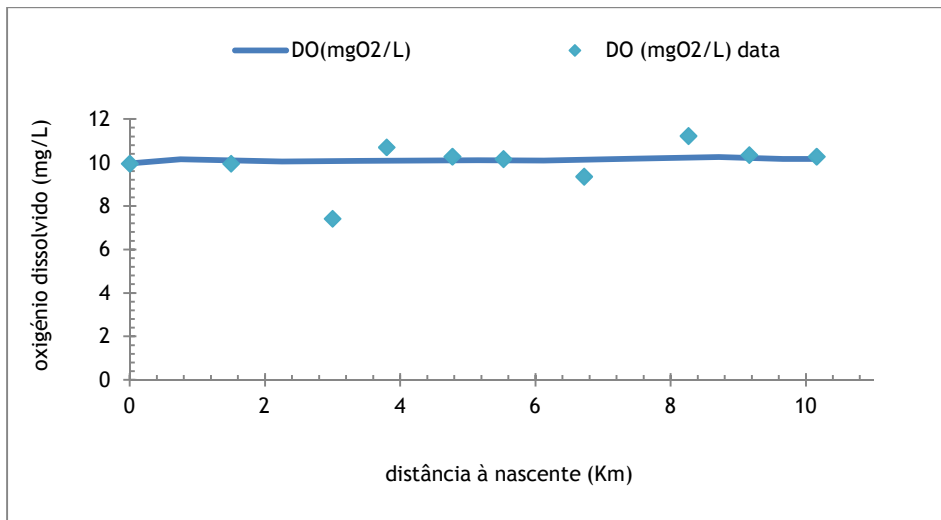


Figura 4.21 - Resultados da calibração de oxigénio dissolvido da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010)

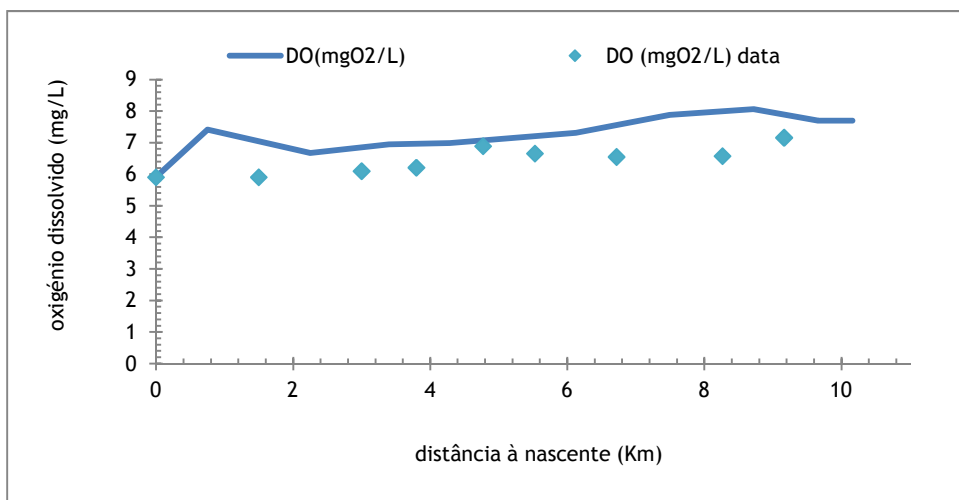


Figura 4.22 - Resultados da calibração de oxigénio dissolvido da água do rio Ramalhos (Abril 2010)

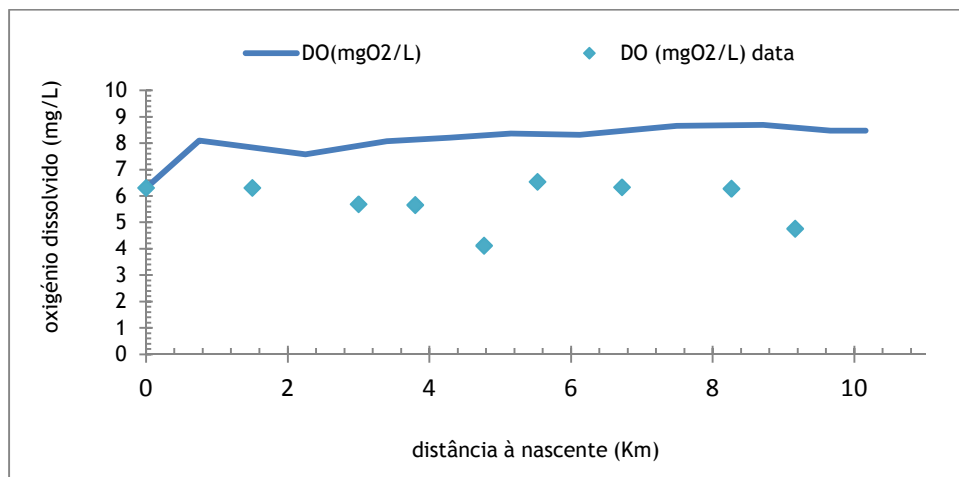


Figura 4.23 - Resultados da calibração de oxigénio dissolvido da água do rio Ramalhos (Junho 2010)

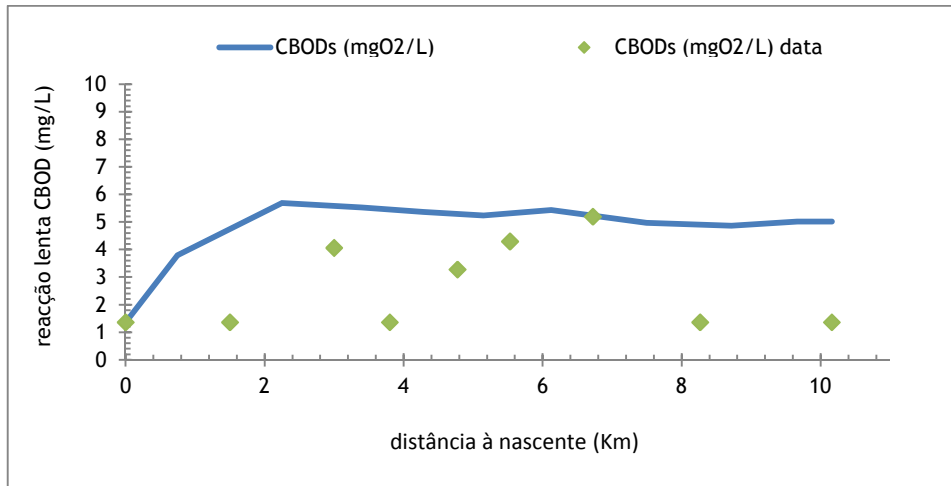


Figura 4.24 - Resultados da calibração de $CBOC_{lenta}$ da água do rio Ramalhoso (Janeiro 2010)

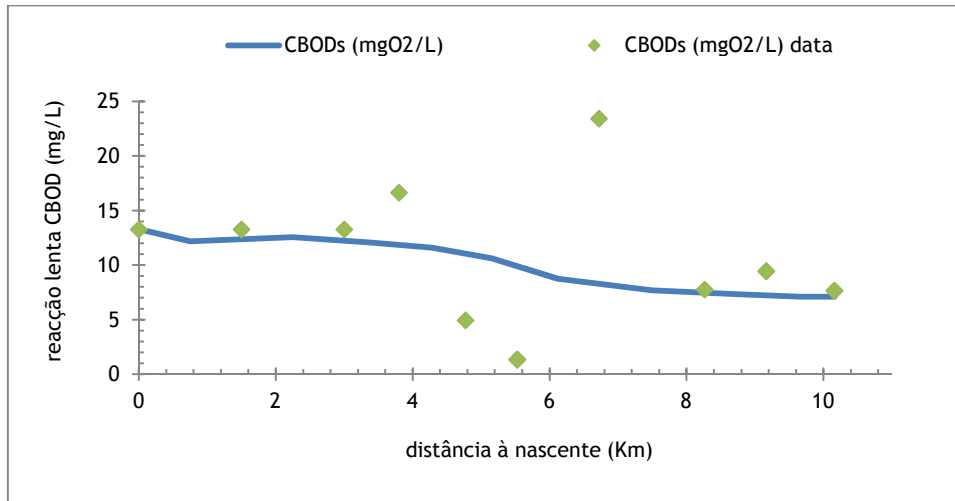


Figura 4.25 - Resultados da calibração de $CBOC_{lenta}$ da água do rio Ramalhoso (Abril 2010)

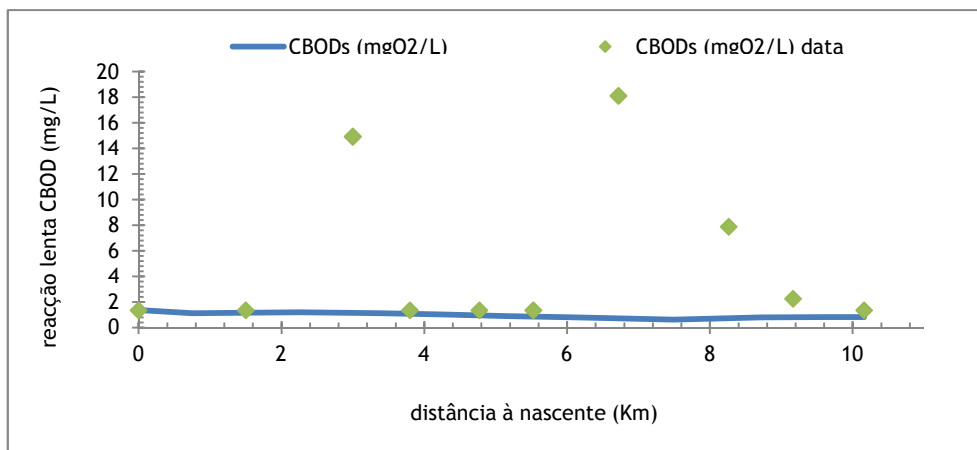


Figura 4.26 - Resultados da calibração de $CBOC_{lenta}$ da água do rio Ramalhoso (Junho 2010)

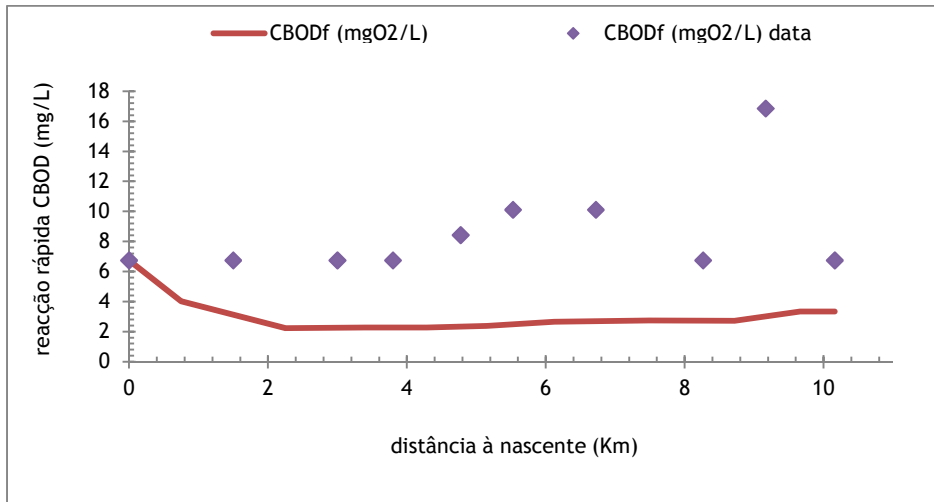


Figura 4.27 - Resultados da calibração de CBOC_{rápida} da água do rio Ramalhão (Janeiro 2010)

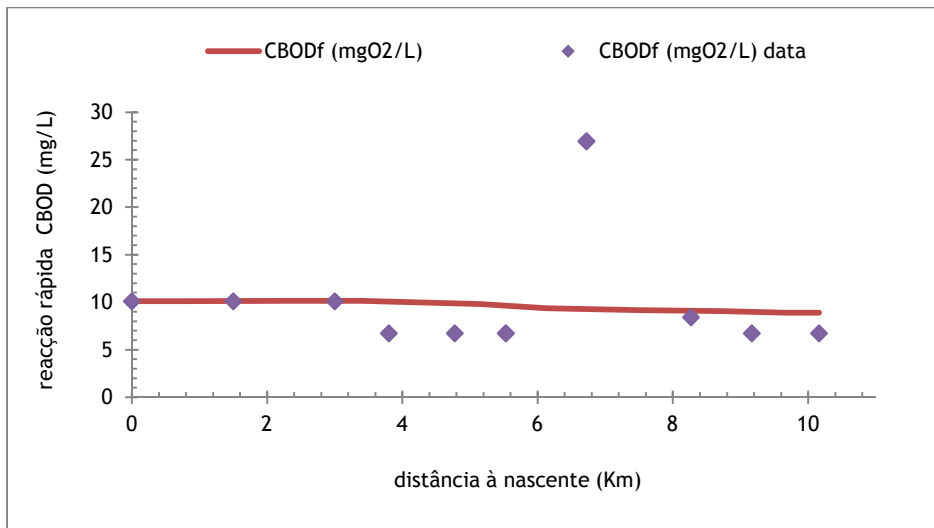


Figura 4.28 - Resultados da calibração de CBOC_{rápida} da água do rio Ramalhão (Abril 2010)

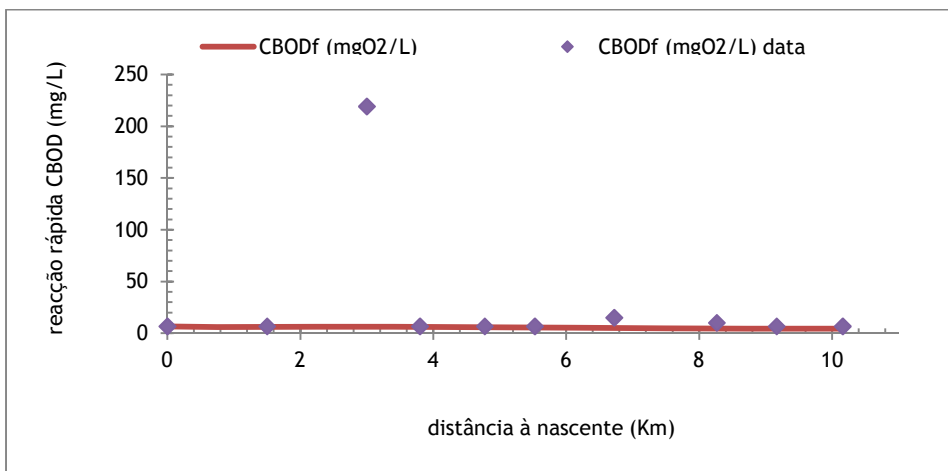


Figura 4.29 - Resultados da calibração de CBOC_{rápida} da água do rio Ramalhão (Junho 2010)

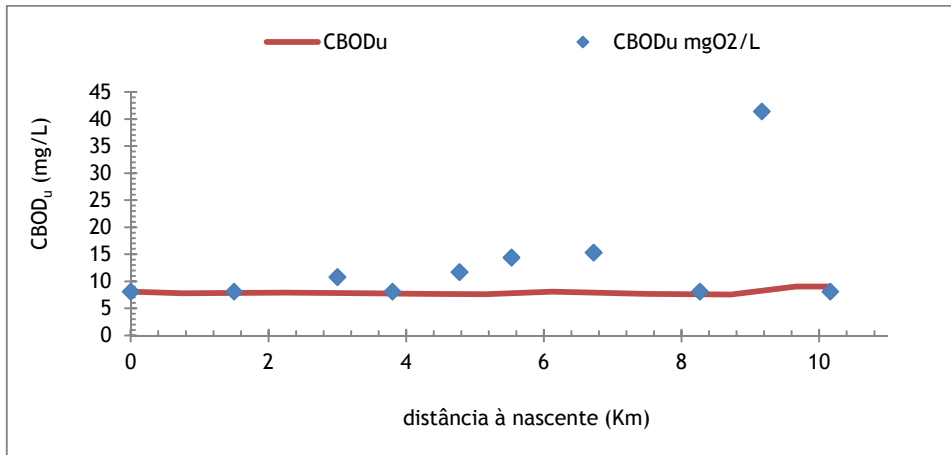


Figura 4.30 - Resultados da calibração de CBOD_u da água do rio Ramalhoso (Janeiro 2010)

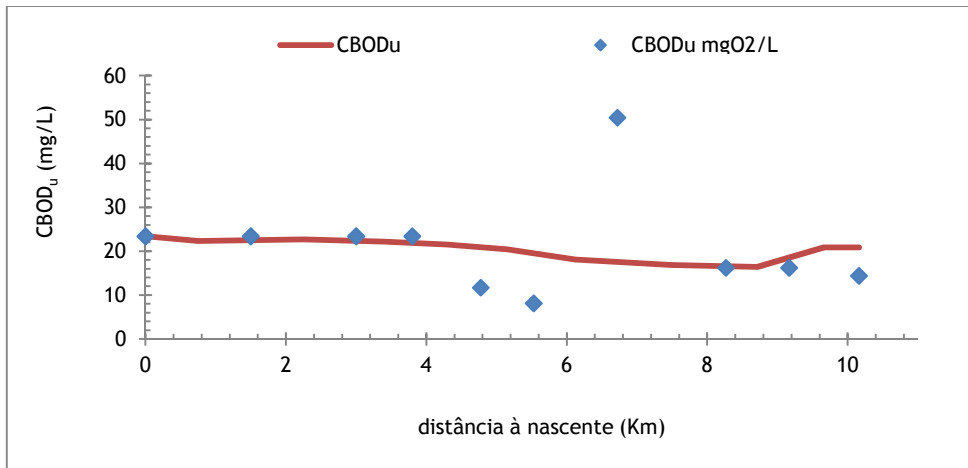


Figura 4.31 - Resultados da calibração de CBOD_u da água do rio Ramalhoso (Abril 2010)

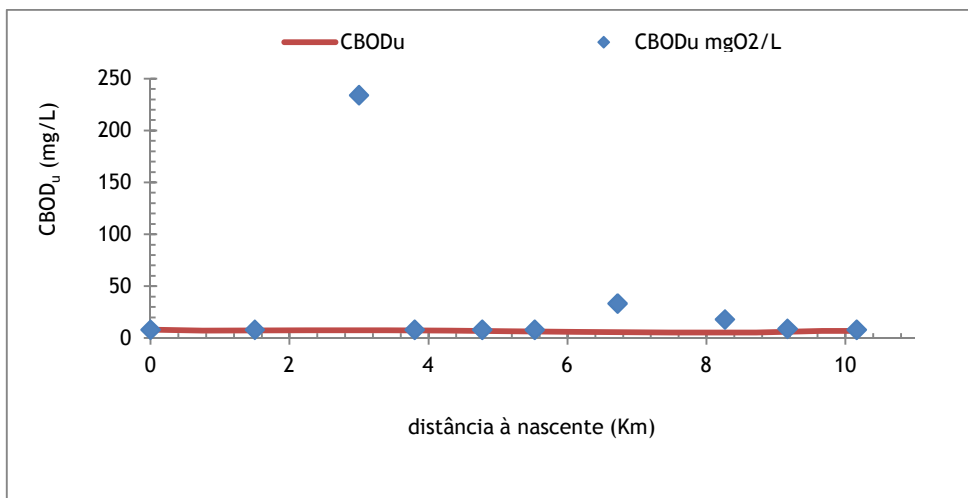


Figura 4.32 - Resultados da calibração de CBOD_u da água do rio Ramalhoso (Junho 2010)

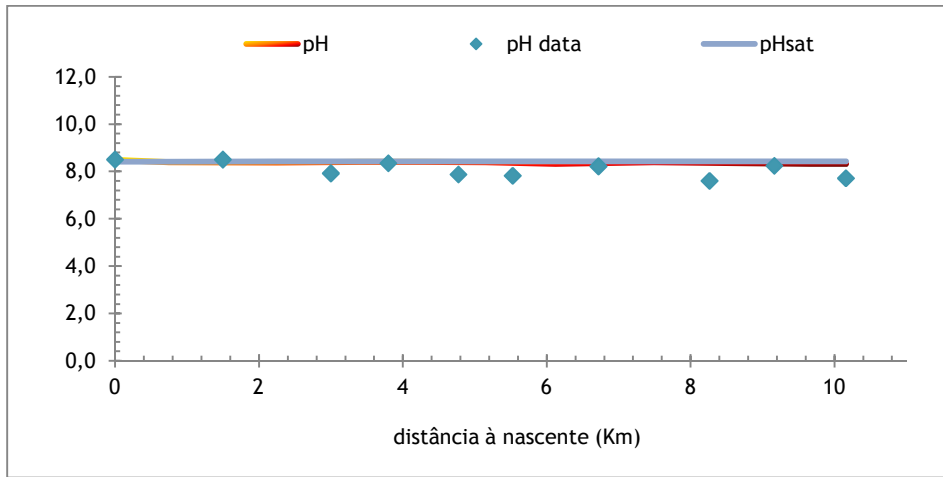


Figura 4.33 - Resultados da calibração de pH da água do rio Ramalhão (Janeiro 2010)

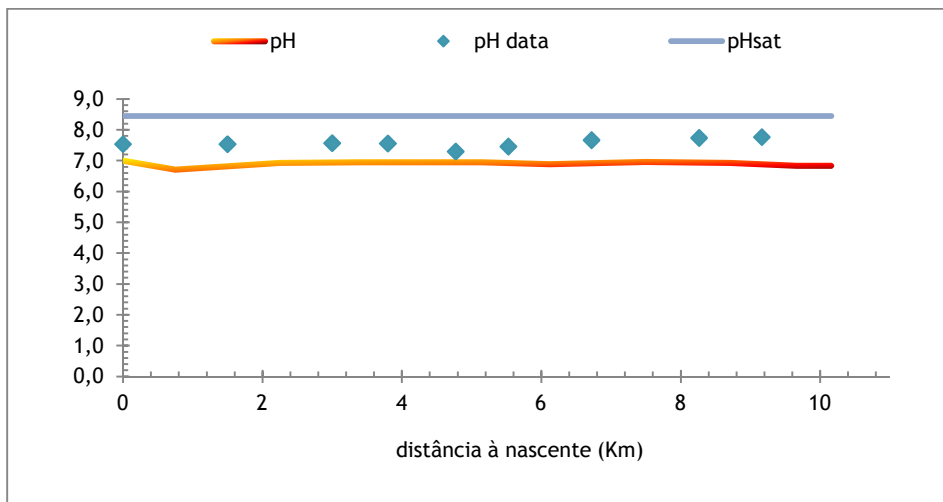


Figura 4.34 - Resultados da calibração de pH da água do rio Ramalhão (Abril 2010)

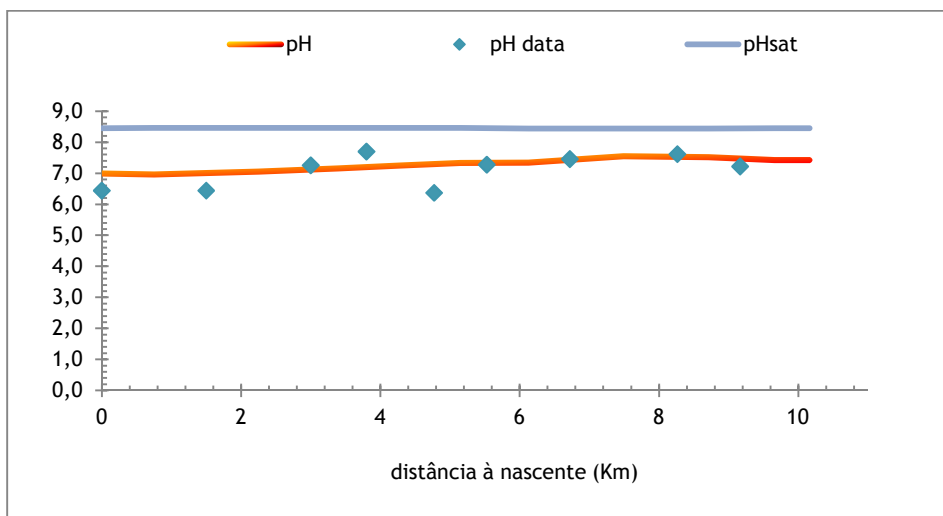


Figura 4.35 - Resultados da calibração de pH da água do rio Ramalhão (Junho 2010)

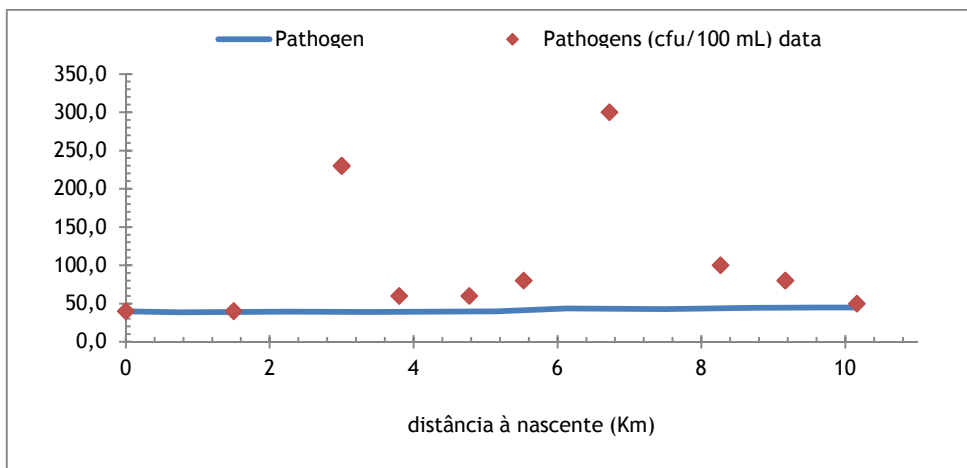


Figura 4.36 - Resultados da calibração de coliformes fecais da água do rio Ramalhos (Janeiro 2010)

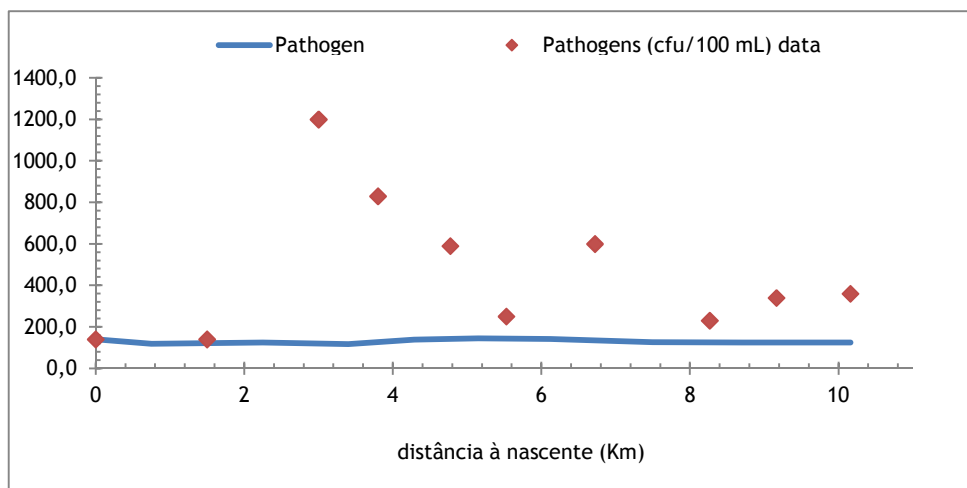


Figura 4.37 - Resultados da calibração de coliformes fecais da água do rio Ramalhos (Abril 2010)

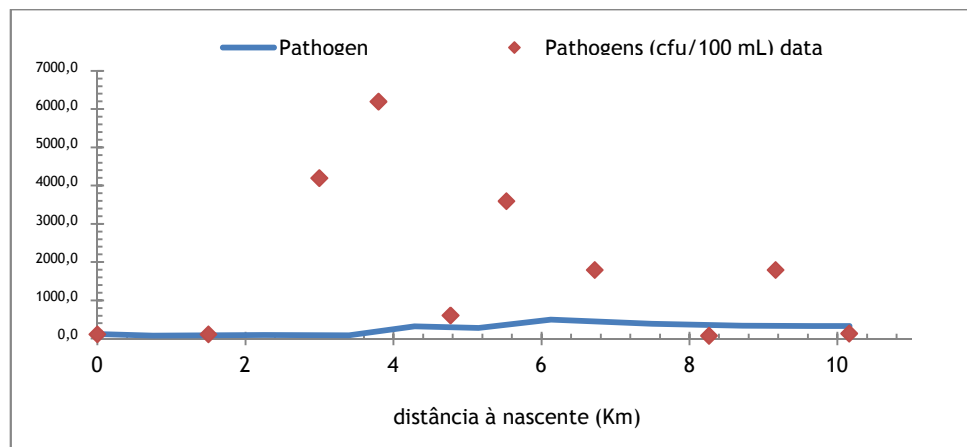


Figura 4.38 - Resultados da calibração de coliformes fecais da água do rio Ramalhos (Junho 2010)

Na generalidade dos parâmetros estudados, verifica-se que a calibração foi conseguida. Existiu uma maior dificuldade de calibração do modelo no período chuvoso e no período seco, sendo bem conseguida a calibração no mês temperado de Abril, podendo ter a ver com isso a forma expedita com que foram estimados os caudais, ou pela razão entre o caudal da linha de água e o caudal das descargas poluentes.

Através da raiz quadrada da média quadrática dos erros, foi possível determinar a diferença média, entre os valores simulados e os valores observados.

Para a campanha de Janeiro temos: temperatura (0,75); condutividade (116,36); oxigénio dissolvido (1,47); pH (1,48), CBOD_u (11,26).

Para a campanha de Abril temos: temperatura (1,14); condutividade (238,57); oxigénio dissolvido (2,47); pH (1,25), CBOD_u (11,56).

Para a campanha de Junho temos: temperatura (0,92); condutividade (400,67); oxigénio dissolvido (3,62); pH (1,04), CBOD_u (72,25).

N generalidade dos parâmetros calibrados, existe um bom ajuste da curva aos valores observados, verificando-se apenas uma ligeira diferença (subestimado) no parâmetro coliformes fecais nos meses de Abril e Junho.

Em termos de análise específica de parâmetros, vai dar-se maior enfoque ao oxigénio dissolvido e ao CBOD_u.

O parâmetro oxigénio dissolvido, é importante controlar pois afecta as reacções na zona hiporreica e relaciona-se com outros parâmetros, nomeadamente o azoto, matéria orgânica e a clorofila-*a*. Os valores simulados, mantêm-se entre o mínimo de ± 6 mg/L em Junho e ± 10 mg/L para o mês de Janeiro, cumprindo com os valores previstos na legislação nacional para águas destinadas a rega e piscícolas.

Para o parâmetro CBOD_u, os valores acompanham a tendência, de aumento a seguir a uma descarga de ETAR, iniciando o declínio após a última descarga.

Os valores do parâmetro pH, são bastante satisfatórios para águas superficiais, sendo mais elevados no mês de Janeiro (8,32-8,5) e mais baixos no mês de Abril (6,83-7,0). Verifica-se a diminuição do pH de montante para jusante, com influência das descargas das ETAR, voltando ao equilíbrio próximo da foz.

4.9.1 - Limitações na calibração

A calibração do QUAL2Kw para o rio Ramalhão teve algumas limitações, designadamente:

- Número de dados de campo reduzido para cada período simulado. No sentido de minimizar as incertezas nos valores introduzidos como referência seria conveniente dispor de uma série de dados diária ou de uma série de vários anos para o mesmo mês;

- Estimativas dos valores dos caudais. Os valores de caudais para os pontos de calibração usados no rio Ramalhos e para os afluentes foram estimados a partir da fórmula semi-empírica de Giandotti;
- Identificação das fontes poluentes distribuídas e respectiva localização. As cargas orgânicas derivadas de fontes dispersas (agricultura) não foram consideradas nas simulações, uma vez que não foi possível determinar o caudal gerado;
- A formulação matemática para a descrição hidráulica do sistema com base na equação de Gauckler-Manning-Strickler. Recorrendo a este modelo considerou-se o mesmo declive e o mesmo coeficiente (Manning = 0,040), embora o rio apresente alguma heterogeneidade.

Tabela XXX - Coeficientes de rugosidade de Manning (Fonte: Adaptado de Pelletier e Chapra, 2005).

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013

4.10 - Conclusões

A qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Ramalhos apresenta problemas de poluição associados essencialmente a contaminação orgânica (CQO, CBO₅), e contaminação fecal, nomeadamente pela influência das descargas das ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos e de Cafede.

Podemos considerar que a calibração é aceitável para a maior parte dos parâmetros considerados, em termos de previsão da qualidade da água do rio Ramalhos.

O modelo QUAL2Kw, poderá ser considerado como uma ferramenta útil, para a previsão da qualidade da água no cenário estudado. O ajuste das curvas obtidas, através do modelo, aos valores medidos é uma prova da aplicabilidade do mesmo.

Considerando os resultados obtidos, e utilizando o potencial que o modelo tem, como ferramenta de apoio ao planeamento e à gestão, propõe-se uma tomada de medidas correctivas, a curto prazo, para melhorar a qualidade das águas no rio Ramalhos e conseqüentemente, no rio Ocreza, de forma a reequilibrar o ecossistema fluvial, permitindo uma eficaz auto depuração do mesmo, com a diminuição da contaminação orgânica.

A alteração do sistema de tratamento nas ETAR existentes, o aumento do caudal na época estival, através da armazenagem da água no período das chuvas na barragem do Pisco, ajudaria também à melhoria da qualidade das águas, pois o grau de diluição seria homogéneo ao longo do ano.

4.11 - Sugestões para trabalho futuro

Atendendo às limitações orçamentais deste estudo, não foi possível efectuar medições horárias (ou apenas diárias) dos parâmetros estudados, ficando deste modo limitado aos valores das três campanhas de amostragem. Uma monitorização ao longo de um ano hidrológico, certamente dará calibrações mais correctas.

Os parâmetros, caudal, velocidade e profundidade do canal, deverão ser determinados *in situ* para entrarem na calibração de modo a obter uma calibração baseada em valores reais. Aprofundar estudos, referentes à influência da barragem do Pisco na qualidade da água, principalmente nos meses secos.

Realizar uma modelação com recurso ao ArcGis, de modo a obter mapas temáticos, de zonamento da qualidade da água ao longo do rio Ramalhos.

5. Bibliografia

Alves, Célia (2010). Tratamento de águas de abastecimento

Bottino, Flávia (2008). Estudo experimental e matemático de qualidade da água com base na ecologia fluvial de pequenas bacias: estudo de caso do rio Canha, Bairro Ribeira de Iguape

Brito, Daímio Chaves (2008). Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL2Kw em grandes rios: O caso do alto e baixo rio Araguari

Brown, L. C.; Barnwell, T. O., (1987). The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual

Catalan Lafuente, Jose e Catalan Alonso, Jose Maria (1987). Rios, caracterización y calidad de sus aguas

Chapra, S.C. (1997). Surface Water-Quality Modeling

Chapra, S. C. (2003). Engineering water quality models and TDMLs. Journal of Water Resources Planning and Management

Charbonneau *et al.*, (1995). A user's guide to pikaia 1.0, NCA Technical Note

Conselho da Europa (1968). Carta Europeia da Água

Di Gregorio, A. and Jansen, L.J.M. (1998). Land cover classification system: classification concepts and user manual for software version 1

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 209/90 de 10 de Setembro, 1990; Portaria n.º 810/90

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 446/91 de 22 de Novembro, 1991

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, 1998

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, 2001

Directiva 2000/60/CE, União Europeia (2000): do Parlamento e Conselho Europeu. Jornal Oficial da Comunidade Europeia

Elvira, B (1997). El declive de los peces fluviales em España. Ecosistemas

Faria, Rita e Pedrosa, António (2005). Aplicação SIG na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do rio Uíma - Santa Maria da Feira

Fischer et al. (1979). Methods suitable for predicting the values of mixing coefficients on the continental shelf are given

Horton, E. Robert (1945) e Strhler, Arthur Newell (1952; 1957), Strahler number (stream order)

Kannel, P.R., Lee, S., Kanel, S.R., Lee, Y. e Ahn, K.-H., (2007). Aplicação de QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Dissolved Oxygen Control in the River Bagmati, *Environ. Monit. Assess*

<http://www.meteo.pt> - Instituto de Meteorologia de Portugal, IP

<http://www.fao.org> - Food an agriculture organization of the united nations

<http://www.fpcolumbofilia.pt/meteo/main063.htm>; Texto e desenhos: TCOR/TOMET Morais Pequeno <http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo7/clima/cportugal.htm>) - Federação Portuguesa de Columbofilia

<http://www.worldwatercouncil.org> - World Water Council

[http://www.infopedia.pt/\\$parametros-microbiologicos-de-uma-agua](http://www.infopedia.pt/$parametros-microbiologicos-de-uma-agua) Parâmetros microbiológicos de uma água. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2011.[Consult.2011-08-09]

http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

<http://www.ebah.com.br>, Nascimento, 2011

<http://www.snirh.pt>, 2011 - Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos

<http://www.epa.gov>, 2011 - United States Environmental Protection Agency

<http://www.erhnam.com>, 2011 - Bem Estar, Motivação e Desenvolvimento Pessoal

<http://www.ecy.wa.gov/biblio/0403010.html> - *Maximum Daily Load Study*, Washington State Department

Instituto Geológico e Mineiro (2001). *Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro*. Instituto Geológico e Mineiro

Köppen, Wladimir Peter, (1846-1940); Geiger, Rudolf, 1894-1981; Alt, Eugen, (1878-1936). Geiger, R.; Alt, E. ; Birkeland, B. J.; Borchardt, Wolfgang; Braak, C.; Brooks, Charles Franklin, (1891-1958); Connor, A. J.; Föyn, N. J.; Kidson, E.; Knoch, K.; Loewe, Fritz, (1895-1974); Meinardus, W.; Petersen, Helge.; Sapper, K.; Schott, G.; Sverdrup, H. U. (1888-1957); Taylor, Thomas Griffith, (1880-1963); Wagner, A.; Wegener, Kurt, b. (1878), Handbuch der klimatologie.

Lencastre, Armando e Franco, F. M. (1992). Lições de Hidrologia

Mendes, Daniel Antoniazzi Ribeiro (2010). Aplicação do modelo QUAL2Kw para avaliação de cargas pontuais no rio Itapanhau

Park, S.S. e Lee, Y.S., (2002). A Water Quality Modelling Study of the Nakdong River, Korea, *Ecol. Model*

Pelletier, G.J. e Bilhimer, D., (2004). *Stillaguamish River Watershed Temperature Total*

Pelletier, G.J. e Chapra, C.S., (2005). QUAL2Kw, Theory and Documentation (version 5.1), A Modelling Framework for Simulating River and Stream Water Quality

Pelletier, G.J., Chapra, C.S. e Tao, H, (2006). QUAL2Kw, A framework for Modelling Water Quality in Streams and Rivers Using a Genetic Algorithm for Calibration., *Environ. Model Software*

Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci*

Pinto, P., S. Rosado, M. Morais e I. Antunes (2010). Assesmente methodology for southern silicious basins in Portugal

Pita, Pedro Barros, Giralt, Xavier Martinez (2002). Public and Private Provision of Health Care, *Journal of Economics and Management Strategy*

Redfield, A.C.; B.H. Ketchum, and F.A. Richards (1963). The Influence of Organisms on the Composition of Seawater, in *The Sea*

Santos, I. R.; Friedrich, A. C. & Ivar do sul, J. A. (2009). Marine debris contamination along undeveloped tropical beaches from northeast Brazil *Environ Monit Assess*

Shiklomanov, I.A. (1993). World freshwater resources. In P. H. Gleick (ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*

Silva, João dos Santos Vila (2006). Impactos Ambientais e Socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal

Simeonov, V.; Stratis, J.A; Samara, C.; et al (2003). Assessment of the surface water quality in northern Greece. Water Research, Amsterdam

Steven C. Chapra and Raymond P. Canale (2006). Numerical Methods for Engineers

Streeter, H.W. Phelps, E.B. (1925). A study of the pollution and natural purification of the Ohio river

Stumm, W. and Morgan, J.J.(1996). Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters

Vieira, Judite Santos (2007). Transformações Biogeoquímicas na bacia hidrográfica do rio Lis

Von Sperling, M. A (1983). Influência do tempo de retardo na determinação do coeficiente de desoxigenação. Engenharia Sanitária

Ward, J.V. (1989). The four dimensional nature of the lotiz ecosystems