

AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DAS DESCARGAS DAS ETARs DE CASTELO BRANCO NO RIO OCREZA - DISTRITO DE CASTELO BRANCO

Norberto Cardoso Carvalho

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, Professor Adjunto da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e co-orientação científica da Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, Professor Adjunto da Unidade Técnico-Científica de Recursos Naturais e Desenvolvimento Sustentável da Escola Superior Agrária, do Instituto Politécnico de Castelo Branco

“A sabedoria da natureza é tal que não produz nada de supérfluo ou inútil.”

Nicolau Copérnico (1473-1543)

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”

Antoine Lavoisier (1743-1794)

Aos meus avôs, pais, esposa e filho.

Agradecimentos

A realização do presente trabalho só foi possível com o apoio de diversas pessoas e entidades às quais gostaria de agradecer.

À minha orientadora, Professora Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, sem o seu apoio, incentivo, amizade, disponibilidade e orientação este trabalho não teria sido possível de concretizar.

À minha Co-Orientadora Professora Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, por toda a ajuda e incentivo concedidos.

À Professora Ana Maria dos Santos Ferreira, agradeço toda a colaboração na realização do trabalho.

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

À minha família que sempre me apoiou e incentivou.

Ao Nuno e Pedro, amigos e colegas do curso de Mestrado, pelo companheirismo, disponibilidade, amizade e espírito de equipa que possibilitaram ultrapassar as dificuldades encontradas durante o período de aplicação do modelo de simulação da qualidade da água QUAL2Kw.

À empresa Aguas do Centro pela iniciativa, disponibilização de meios e colaboração para a realização deste estudo.

Ao Eng.º Nelson do laboratório LRTM por todo o seu profissionalismo ao longo das campanhas de recolha de amostras realizadas.

Ao Professor Greg Pelletier, pelas sugestões e ajuda na verificação e calibração do modelo QUAL2Kw.

Aos amigos do curso de Mestrado, Sandrina, Maria, Sónia, Cristina, Miguel e Marco, pela amizade, companheirismo e disponibilidade demonstrados ao longo do curso.

Palavras chave: Rio Ocreza; Ribeira da Lória; Estação de Tratamento de Aguas Residuais; Qualidade da água; QUAL2Kw

Resumo

A ribeira da Lória é um dos principais afluentes do Rio Ocreza. O rio Ocreza nasce na Serra da Gardunha, no centro de Portugal, a 1160 metros de altitude e estende-se por 80 km até desaguar no rio Tejo. A área da bacia do rio Ocreza apresenta 1427 km² e integra várias ribeiras como afluentes. A ribeira da Lória é o principal afluente na margem esquerda do rio Ocreza, constitui o curso de água mais próximo de Castelo Branco e atravessa, canalizado, a vila de Alcains; pelo que é utilizado na descarga dos efluentes das Estações de Tratamento de Aguas Residuais (ETAR) de Castelo Branco e Alcains. A água da ribeira da Lória é utilizada na rega de áreas agrícolas localizadas próximo desta ribeira. Ao longo do rio Ocreza existem algumas praias fluviais e barragens (Sta. Águeda e Pracana) que são usadas para abastecimento público e em atividades de lazer. A qualidade da água é fundamental pelo que se torna essencial caracterizar, monitorizar e, principalmente, controlar o impacte das descargas das Estações de Tratamento de Águas Residuais nas linhas de água. O presente trabalho tem por principal objetivo o estudo do impacte das descargas das Estações de Tratamento de Águas Residuais de Alcains e de Castelo Branco na ribeira da Lória e a simulação da qualidade da água, recorrendo a um conjunto de parâmetros físico-químicos, com aplicação do software QUAL2Kw. A recolha de amostras de água foi efetuada entre a vila de Alcains e a secção da ribeira da Lória situada a 11,7 km da confluência com o rio Ocreza, em dezoito locais de amostragem previamente selecionados e georreferenciados. O primeiro ponto de recolha localizou-se a montante da zona de descarga, e os restantes pontos foram distribuídos de forma aproximadamente equidistante pelo curso em estudo da ribeira da Lória. Foram, ainda, colhidas amostras na estação elevatória de Alcains, na caixa de visita do coletor residual proveniente do matadouro de Alcains, na caixa de saída da ETAR de Alcains e na zona de confluência da descarga da ETAR Sul de Castelo Branco. As campanhas realizaram-se durante três épocas distintas, ao longo do ano hidrológico de 2010, correspondendo aos períodos de: inverno chuvoso (Janeiro 2010), temperado (Abril 2010) e seco (Junho 2010). Com estas três campanhas de amostragem foi avaliada a variabilidade temporal e espacial dos diversos parâmetros ao longo da ribeira da Lória.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados foram os seguintes: temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (SDT), concentração de oxigénio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST), carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), carência química de oxigénio (CQO), Fósforo Total (P_{total}), Azoto Total (N_{total}), coliformes fecais e potencial de oxidação-Redução (ORP). Estes parâmetros são utilizados como indicadores na avaliação dos níveis de contaminação ou poluição no corpo de água, sendo utilizados na simulação da qualidade da água na ribeira da Lória utilizando o software QUAL2Kw (Pelletier, e Chapra, 2006). Os resultados obtidos nas simulações e respetiva classificação da qualidade da água, permitem concluir que as descargas das ETAR de Alcains e de Castelo Branco, afetam consideravelmente a qualidade das águas da ribeira da Lória.

Keywords: Ocreza River; Líría Stream; Wastewater treatment plant; QUAL2Kw; Water Quality.

Abstract

The Líría stream is one of the main tributaries of Ocreza River. The Ocreza river is born in the South slope of the Mountain range of the Gardunha, in the center of Portugal, at 1160 meters of altitude and extends for 80 km until it flows into the Tagus river. The area of the basin of the Ocreza river presents 1427 km² and integrates various streams and tributaries. The Líría stream is the main tributary on the left bank of the Ocreza river, is the nearer watercourse of the city of Castelo Branco and crosses, channeled, the village of Alcains; by which is used in the discharge of effluents of Wastewater Treatment Plants (WWTP) of Castelo Branco and Alcains. The water of the Liria stream is used for irrigation of agricultural areas located near the stream. Along the Ocreza river there are some beaches and river dams (Sta. Agueda and Pracana) that are used for public supply and in leisure activities. The quality of the water is essential, so is important to characterize, monitor and mainly control the impact of discharges from wastewater treatment in water lines. This work has for primary objective the study of the impact of discharges from the Alcains and Castelo Branco Wastewater Treatment plans in the Liria stream and the simulation of water quality, using a set of physical-chemical parameters, with software application QUAL2Kw.

The sampling of water was carried out between the village of Alcains and the section of the Liria stream located 11.7 km of the confluence with the Ocreza river, in eighteen sampling locations previously selected and georeferenced. The first point of selection was located upstream of the discharging area of the alcains wastewater treatment plan, and the rest of the points were distributed equidistantly through the watercourse of the Liria stream in study. Were also collected samples in the wastewater pumping station of Alcains, in the manhole of the sewers from the slaughterhouse of Alcains, in the output manhole of the Wastewater Treatment Plant of Alcains and in the zone of confluence of the discharge of the Wastewater Treatment Plant South of Castelo Branco. The campaigns were held during three distinct periods, along the hydrological year of 2009/2010, corresponding to periods of: rainy winter (January 2010), temperate (April 2010) and dry (June 2010). With these three campaigns of sampling were evaluated the spatial and temporal variability of various parameters along the Liria stream.

The physicochemical and microbiological parameters analyzed were the following: temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), concentration of dissolved oxygen (DO), total suspended solids (TSS), biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), Total phosphorus (P_{total}), Total Nitrogen (N_{total}), faecal coliforms and oxidation-reduction potential (ORP). These parameters are used as indicators in the assessment of the levels of contamination or pollution in the watercourse, being used in the simulation of water quality in the Líría stream by software QUAL2Kw. Based on simulations and in the classification of the quality of the water obtained from the parameters analyzed it appears that the discharges of waste water treatment plant of Alcains and two of Castelo Branco affect of a very negative way the quality of the waters of the Liria stream.

Índice geral

1	INTRODUÇÃO	11
2	ÂMBITO E ENQUADRAMENTO.....	13
3	OBJECTIVOS.....	16
4	METODOLOGIA.....	17
5	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	18
5.1	Introdução	18
5.2	Localização Geográfica	19
5.3	Geologia.....	22
5.4	Morfologia do Terreno	23
5.5	Hidrografia.....	23
5.6	Clima.....	25
5.7	Uso do Solo	29
6	QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	30
6.1	Avaliação da Qualidade da Água	30
6.1.1	Parâmetros Físico-Químicos	30
6.1.2	Parâmetros Biológicos e Bacteriológicos	33
6.2	Autodepuração	33
6.3	Monitorização da Qualidade da Água	35
6.3.1	Amostragem	35
6.3.2	Métodos de Análise das Amostras.....	43
6.3.3	Resultados dos Parâmetros Analisados	44
6.3.4	Qualidade da água no curso da Ribeira da Líria.....	47
6.3.5	Caudais	53
7	MODELO MATEMÁTICO	56
7.1	Descrição do Modelo	56
7.2	Discretização da ribeira da Líria	57
7.3	Largura e inclinação da ribeira da Líria	57
7.4	Opções de simulação.....	58
7.5	Calibração do Modelo	59
7.6	Resultados	64
7.6.1	Caudal	64
7.6.2	Temperatura da Água.....	65
7.6.3	Condutividade Elétrica	67
7.6.4	Sólidos Suspensos Totais	69
7.6.5	Oxigénio Dissolvido.....	70
7.6.6	Carência Bioquímica de Oxigénio.....	72
7.6.7	Fósforo Total	77
7.6.8	pH	81
7.6.9	Coliformes Fecais.....	82
7.7	Condicionantes e Limitações na Calibração	84
8	CONCLUSÕES	85

9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
	BIBLIOGRAFIA.....	87

Índice de figuras

Figura 2.1 - Identificação de zonas sensíveis (Diário da República, 2004)	14
Figura 5.1 - Ciclo Hidrológico (site da USGS, 2010)	18
Figura 5.2 - Localização da Bacia Hidrográfica em estudo em Portugal	20
Figura 5.3 - Localização da Bacia Hidrográfica em estudo no Distrito de Castelo Branco	21
Figura 5.4 - Localização da Bacia Hidrográfica em estudo no concelho de Castelo Branco	21
Figura 5.5 - Carta Geológica de Portugal (Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, 1972)	22
Figura 5.6 - Carta Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do curso da ribeira da Lória	23
Figura 5.7 - Bacia Hidrográfica do curso da ribeira da Lória	24
Figura 5.8 - Linhas de água afluentes do curso da ribeira da Lória	25
Figura 5.9 - Precipitação média anual na bacia hidrográfica do curso da ribeira da Lória	26
Figura 5.10 - Evapotranspiração média anual na bacia hidrográfica do curso da ribeira da Lória	27
Figura 5.11 - Principais sub-bacias do curso da ribeira da Lória	28
Figura 5.12 - Uso do solo na bacia hidrográfica do curso da ribeira da Lória	29
Figura 6.1 - Representação esquemática do processo de autodepuração (Santana, 2008)	34
Figura 6.2 - Localização dos pontos de recolha de água na bacia da ribeira da Lória	37
Figura 6.3 - Localização do ponto de colheita AL1 - 1ª Campanha	37
Figura 6.4 - Localização do ponto de colheita AL2 - 1ª Campanha	38
Figura 6.5 - Localização do ponto de colheita AL3 - 1ª Campanha	38
Figura 6.6 - Localização do ponto de colheita AL4 - 1ª Campanha	38
Figura 6.7 - Localização do ponto de colheita AL5 - 1ª Campanha	38
Figura 6.8 - Localização do ponto de colheita AL6 - 1ª Campanha	39
Figura 6.9 - Localização do ponto de colheita AL7 - 1ª Campanha	39
Figura 6.10 - Localização do ponto de colheita AL8 - 1ª Campanha	39
Figura 6.11 - Localização do ponto de colheita AL9 - 1ª Campanha	39
Figura 6.12 - Localização do ponto de colheita AL10 - 1ª Campanha	40
Figura 6.13 - Localização do ponto de colheita AL11 - 1ª Campanha	40
Figura 6.14 - Localização do ponto de colheita AL12 - 1ª Campanha	40
Figura 6.15 - Localização do ponto de colheita AL13 - 1ª Campanha	40
Figura 6.16 - Localização do ponto de colheita AL14 - 1ª Campanha	41
Figura 6.17 - Localização do ponto de colheita AL15 - 1ª Campanha	41
Figura 6.18 - Localização do ponto de colheita AL16 - 1ª Campanha	41
Figura 6.19 - Localização do ponto de colheita AL17 - 1ª Campanha	41
Figura 6.20 - Localização do ponto de colheita AL18 - 1ª Campanha	42
Figura 7.1 - Discretização do curso da ribeira da Lória (interface QUAL2Kw)	57
Figura 7.2 - Características gerais da modelação para a 1ª campanha (interface QUAL2Kw)	59
Figura 7.3 - Parâmetros de calibração do modelo QUAL2Kw para a modelação da ribeira da Lória (interface QUAL2Kw)	61
Figura 7.4 - Coeficientes do PIKAIA na folha "RATES" do QUAL2Kw	62
Figura 7.5 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o caudal da ribeira da Lória - Janeiro de 2010	64
Figura 7.6 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o caudal da ribeira da Lória - Abril de 2010	65
Figura 7.7 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o caudal da ribeira da Lória - Junho de 2010	65
Figura 7.8 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a temperatura da água - Janeiro de 2010	66

Figura 7.9 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a temperatura da água - Abril de 2010	66
Figura 7.10 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a temperatura da água - Junho de 2010	67
Figura 7.11 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a condutividade elétrica - Janeiro de 2010...	68
Figura 7.12 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a condutividade elétrica - Abril de 2010	68
Figura 7.13 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a condutividade elétrica - Junho de 2010.....	69
Figura 7.14 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os sólidos suspensos totais - Janeiro de 2010	70
Figura 7.15 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os sólidos suspensos totais - Abril de 2010....	70
Figura 7.16 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os sólidos suspensos totais - Junho de 2010 ..	70
Figura 7.17 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido - Janeiro de 2010.....	71
Figura 7.18 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido - Abril de 2010.....	71
Figura 7.19 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido - Junho de 2010	72
Figura 7.20 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio - Janeiro de 2010	73
Figura 7.21 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio - Abril de 2010	73
Figura 7.22 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio - Junho de 2010	74
Figura 7.23 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta - Janeiro de 2010	74
Figura 7.24 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta - Abril de 2010	75
Figura 7.25 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta - Junho de 2010	75
Figura 7.26 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação rápida - Janeiro de 2010.....	76
Figura 7.27 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação rápida - Abril de 2010	76
Figura 7.28 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação rápida - Junho de 2010	77
Figura 7.29 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo orgânico - Janeiro de 2010.....	78
Figura 7.30 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo orgânico - Abril de 2010	78
Figura 7.31 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo orgânico - Junho de 2010	79
Figura 7.32 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo inorgânico - Janeiro de 2010	79
Figura 7.33 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo inorgânico - Abril de 2010.....	80
Figura 7.34 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo inorgânico - Junho de 2010	80
Figura 7.35 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o pH - Janeiro de 2010	81
Figura 7.36 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o pH - Abril de 2010.....	81
Figura 7.37 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o pH - Junho de 2010	82
Figura 7.38 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os coliformes fecais - Janeiro de 2010.....	82
Figura 7.39 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os coliformes fecais - Abril de 2010.....	83
Figura 7.40 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os coliformes fecais - Junho de 2010	83

Índice de tabelas

Tabela 5.1 - Temperatura média mensal do ar nos meses da realização das campanhas de amostragem.....	27
Tabela 5.2- Precipitação média mensal na estação do Ladoeiro nos últimos cinco anos hidrológicos (mm)	28
Tabela 6.1 - Localização e coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de água	42
Tabela 6.2 - Hora das colheitas de amostragem de água.....	43
Tabela 6.3 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Janeiro de 2010, utilizados no QUAL2Kw	44
Tabela 6.4 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Abril de 2010, utilizados no QUAL2Kw	45
Tabela 6.5 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Junho de 2010, utilizados no QUAL2Kw	45
Tabela 6.6 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Janeiro de 2010, não utilizados no QUAL2Kw	46
Tabela 6.7 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Abril de 2010, não utilizados no QUAL2Kw	46
Tabela 6.8 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Junho de 2010, não utilizados no QUAL2Kw	47
Tabela 6.9 - Anexo XXI do Decreto-Lei n.º 236/98 (Diário da República, 1998).....	48
Tabela 6.10 - Avaliação da qualidade da água na 1ª campanha (Janeiro 2010)	48
Tabela 6.11 - Avaliação da qualidade da água na 2ª campanha (Abril 2010)	49
Tabela 6.12 - Avaliação da qualidade da água na 3ª campanha (Junho 2010).....	50
Tabela 6.13 - Grelha paramétrica para usos múltiplos definida pelo INAG (1998).....	51
Tabela 6.14 - Avaliação da qualidade da água na 1ª campanha (Janeiro de 2010)	51
Tabela 6.15 - Avaliação da qualidade da água na 2ª campanha (Abril 2010)	52
Tabela 6.16 - Avaliação da qualidade da água na 3ª campanha (Junho 2010).....	53
Tabela 6.17 - Características gerais das sub-bacias	54
Tabela 6.18 - Precipitações mensais médias e diárias nos meses das campanhas de amostragem	54
Tabela 6.19 - Valores dos caudais (m ³ /s).....	55
Tabela 7.1 - Coeficiente de Valores do coeficiente de Manning (n) para várias configurações de canais e dos materiais dominantes (Cortes, 2004).....	58

1 INTRODUÇÃO

A água é indispensável à vida na Terra. As plantas e os animais necessitam da água para toda a sua atividade metabólica. Desde a antiguidade que os povos se implantaram preferencialmente nas proximidades de rios, grandes civilizações da antiguidade prosperaram e floresceram em territórios banhados por rios. Nestas sociedades, a água dos rios era usada, na maior parte, para rega dos terrenos agrícolas que foi a base do seu desenvolvimento.

Ainda que a quantidade total de água na Terra, nas três fases, sólida, líquida e gasosa, se mantenha constante, a sua presença é dinâmica, encontrando-se em circulação permanente. O ciclo da água ou ciclo hidrológico corresponde à contínua circulação da água pelos três reservatórios de água, os oceanos, os continentes e a atmosfera. O ciclo hidrológico é um sistema fechado, através do qual, a água passa do globo terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e regressa àquele, nas fases líquida e sólida. Os cursos de água podem ser alimentados por dois processos distintos do ciclo hidrológico, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo, regra geral os que beneficiam deste último apresentam regimes permanentes os restantes caracterizam-se por regimes sazonais ou intermitentes.

O carácter renovável dos recursos hídricos é consequência do ciclo hidrológico ser fechado. A água utilizada pelo Homem, para finalidades diversificadas, em que se destacam pela importância, o abastecimento doméstico e público, uso agrícola e industrial e a produção de energia elétrica, é proveniente de águas superficiais e subterrâneas. Em consequência, o Homem intervém no ciclo hidrológico por meio de obras e instalações que permitem captar água, armazena-la, transportá-la de um local para outro, ou ainda melhorar a sua qualidade em função da utilização a que se destina. Tais obras e instalações consistem, para além dos sistemas distribuição de água, captações de água superficial e subterrânea, barragens para criar albufeiras, sistemas de transporte de água, reservatórios de água e estações de tratamento (Direção-Geral dos Recursos Naturais, 1988).

Após a utilização da água, o Homem lança-a nas massas de água naturais, em geral, deteriorada e com qualidade inferior à que foi captada, provocando a degradação da qualidade da água dos meios recetores, constituindo assim, uma interferência no ciclo hidrológico ao nível da qualidade da água e limitando o seu potencial uso. Por exemplo, as águas residuais não tratadas não podem ser lançadas para o meio recetor, sem tratamento prévio, devido aos impactos no ambiente e na saúde pública que podem provocar.

Para realizar estes tratamentos prévios das águas residuais recorre-se a Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), que permitem a realização de um conjunto de processos físicos, biológicos e químicos, que têm por finalidade melhorar a qualidade do efluente e deste modo reduzir o impacto no meio recetor a um nível aceitável. No entanto, em alguns casos, devido a erros de projeto, adoção de sistema de tratamento inadequado ou mau funcionamento da ETAR, entre outras razões, estas águas tratadas podem contaminar o curso de água recetor. Estas situações são monitorizadas pelas entidades responsáveis da gestão da qualidade da água, na administração local e central, e são acompanhadas pelas populações, tendo em conta a ética

ambiental cada vez mais enraizada na sociedade, o quadro legal cada vez mais exigente, e também pela maior eficiência das tecnologias disponíveis para o tratamento de águas residuais. Deste modo, é necessária a implementação de uma correta gestão dos recursos hídricos, por parte, das instituições internacionais, dos governos e das entidades gestoras e responsáveis ao nível central e local.

A união Europeia com o objetivo de melhorar a qualidade das águas criou a Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE) que estabelece metas a atingir até ao ano de 2015 (INAG, 2010).

No que se refere ao tratamento de águas residuais urbanas, a União europeia elaborou a Diretiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, alterada pela Directiva 98/15/CE da Comissão, de 27 de Fevereiro de 1998 e pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro. Estas Diretivas foram transpostas para a legislação portuguesa, respetivamente, pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho e pelo Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro, pelo Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de Junho e pelo Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de Outubro (Diário da República, 1997, 1998, 2004 e 2008). O objetivo deste quadro legislativo é proteger o ambiente dos efeitos nefastos das descargas das águas residuais urbanas e das águas residuais de determinados sectores industriais, através da fixação de critérios para o processo de recolha, tratamento e descarga das mesmas (INAG, 2010).

Segundo Rita Azevedo (Naturlink, 2002), uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) é certamente o destino mais adequado à promoção da saúde pública e à preservação dos recursos hídricos, de modo a evitar a sua contaminação. As descargas das ETAR incorporam substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos, que são responsáveis, quando não tratados, pela deterioração do corpo recetor (Braga et al., 2002).

Neste campo de ação é essencial conjugar a monitorização do funcionamento das ETAR, em conformidade com a legislação em vigor, com a monitorização do impacte das respetivas descargas nos meios hídricos de modo a avaliar se essas descargas estão adaptadas à capacidade do meio recetor, dado que essa capacidade é variável em função das características que o meio recetor possui.

Neste sentido, o presente trabalho pretende avaliar a contribuição das descargas das ETAR de Castelo Branco e Alcains na ribeira da Liria e estimar a sua contribuição para a qualidade das águas no rio Ocreza.

2 ÂMBITO E ENQUADRAMENTO

A Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE), que entrou em vigor no dia 22 de Dezembro de 2000, foi transposta para as Leis Nacionais dos vários estados membros. Em Portugal, a transposição foi realizada através da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro e complementada pelo Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março (Diário da República, 2005 e 2006).

A Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro e o Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março, estabelecem as bases para a gestão dos recursos hídricos e definem o novo quadro institucional para o sector, promovendo alterações significativas ao modelo institucional de gestão dos recursos hídricos, instituindo o Instituto da Água (I.P.), como Autoridade Nacional da Água e cria as Administrações de Região Hidrográfica (ARH) como os organismos regionais responsáveis pelo licenciamento e fiscalização (Diário da República, 2005 e 2006).

Neste contexto de gestão e fiscalização é fundamental o controlo do tratamento das águas residuais urbanas, no Decreto-Lei n.º 149/2004 de 22 de Junho, a Albufeira de Pracana no rio Ocreza foi classificada como Zona Sensível (número 9) conforme se pode verificar na figura 2.1 a seguir apresentada e retirada do mesmo Decreto-Lei (Diário da República, 2004).

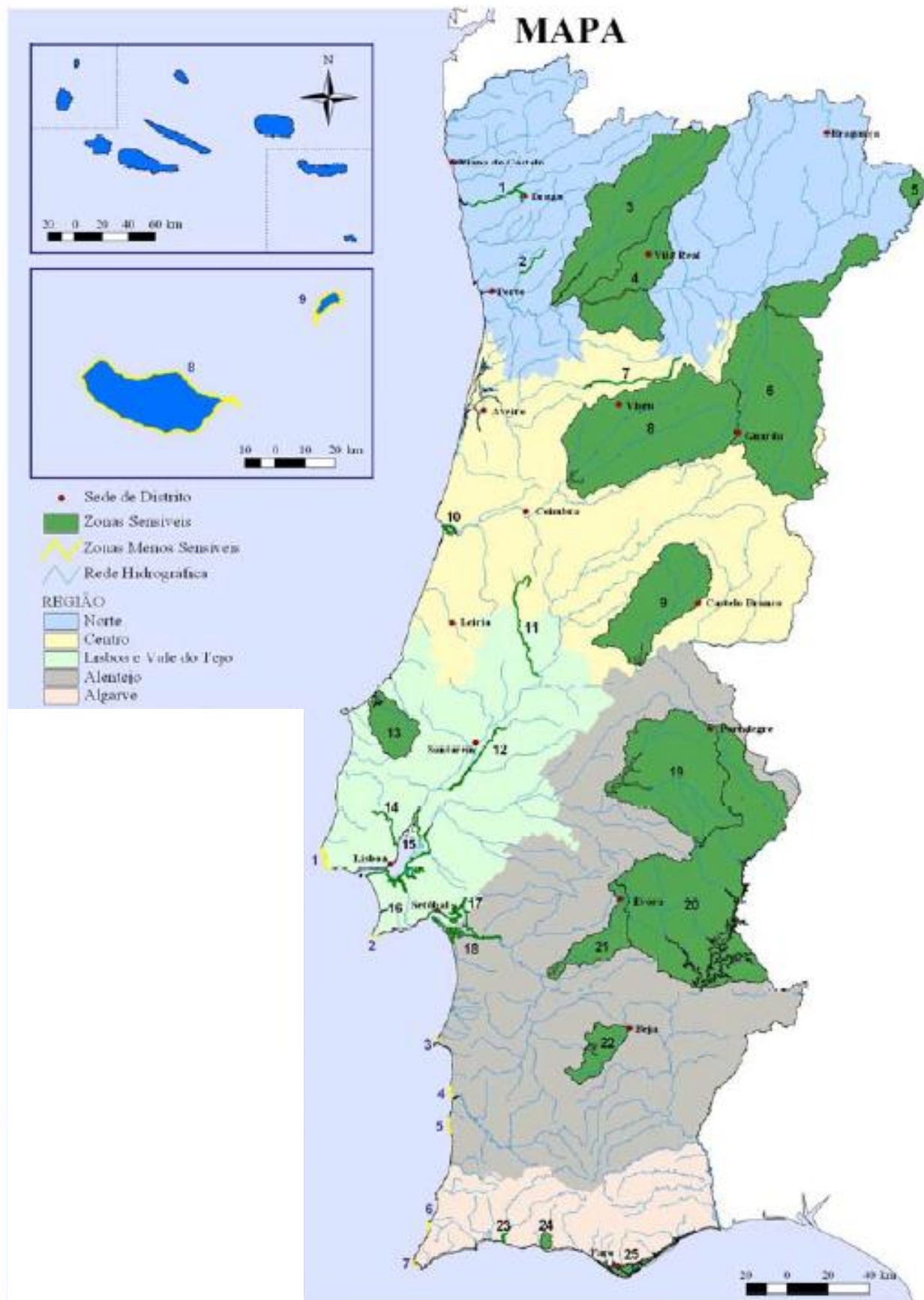


Figura 2.1 - Identificação de zonas sensíveis (Diário da República, 2004)

A classificação da Albufeira de Pracana no rio Ocreza como zona sensível está associada à bacia hidrográfica do rio Ocreza como área de influência. No caso da albufeira da Pracana, os parâmetros CLOROFILA-A e fósforo são os responsáveis pelo incumprimento da respetiva diretiva e fatores limitantes da eutrofização (INAG, 2010).

No número 2 do artigo 12º do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, é estabelecido que “Compete igualmente à entidade licenciadora proceder ao controlo da qualidade do meio aquático nos casos em que haja fundados receios de que este esteja a ser deteriorado por descargas das águas residuais a que se reporta o presente diploma, exceto quanto às águas costeiras, relativamente às quais esta competência será exercida pelo Instituto da Água” (Diário da República, 1997).

É deste modo indispensável, neste âmbito de controlo e monitorização dos impactes em zonas sensíveis, a realização de estudos complementares que avaliem as contribuições provocadas por descargas de ETAR situadas no interior da bacia hidrográfica que delimita a área de influência da zona sensível. No presente caso constata-se que as ETAR de Castelo Branco e Alcains estão inseridas na área de influência da zona sensível da albufeira de Pracana.

3 OBJECTIVOS

A caracterização dos impactes na qualidade da água de uma bacia hidrográfica provocados pelas descargas de ETAR é um dos objetivos das entidades que gerem os recursos hídricos.

O principal objetivo do presente estudo consiste na caracterização do impacte das descargas da ETARs de Castelo Branco e de Alcains no curso da ribeira da Líria, compreendido entre Alcains e a secção da ribeira da Líria, situada a 11,7 km da confluência com o rio Ocreza. E assim permitir avaliar a sua contribuição no rio Ocreza. Para tal, foram utilizados dois critérios para classificar os parâmetros da qualidade da água analisados, e com recurso ao software QUAL2Kw, que utiliza modelo de dinâmica da qualidade da água, avaliar a qualidade, vulnerabilidade e capacidade de autodepuração; possibilitando a adoção de medidas de monitorização mais adequadas.

Com o desenvolvimento deste trabalho e aplicação do software QUAL2Kw, pouco utilizado em Portugal, e com enorme potencial para simular o impacte em cursos de água provocados por diferentes tipos de cenários de poluição, constituirá uma importante ferramenta futura para a Empresa Águas do Centro, ou outras entidades congéneres, no auxílio da tomada de decisões.

4 METODOLOGIA

Na caracterização do impacto das descargas da ETAR de Alcains e de Castelo Branco na ribeira da Lória, definiu-se, previamente, uma malha para recolha de amostras de água, a realizar em três estações distintas do ano hidrológico 2010; correspondentes aos meses de Janeiro, Abril e Junho de 2010. Os pontos previamente seleccionados, representam amostras colhidas a montante das descargas das duas ETAR e distribuídos de modo aproximadamente equidistante a jusante; tendo sido georreferenciados com recurso a ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo uma localização precisa dos vários locais de recolha de amostras, para as três campanhas.

As amostras foram colhidas em recipientes adequados e analisados alguns parâmetros “*in situ*” e em laboratório. Os parâmetros físico-químicos seleccionados foram os seguintes: temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), concentração de oxigénio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST), carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), carência química de oxigénio (CQO), Fósforo Total (P_{total}), Azoto Total (N_{total}), coliformes fecais e potencial de oxidação-Redução (ORP).

Os vários parâmetros estudados permitem caracterizar e avaliar a qualidade da água, por comparação com os valores paramétricos legislados, nomeadamente a Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro (Diário da República, 2005).

Na área de estudo procedeu-se, numa primeira fase, à análise e caracterização da bacia hidrográfica correspondente e ao seu enquadramento geográfico e geológico.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos das amostras recolhidas foram utilizados como dados de entrada para a calibração do modelo matemático no programa QUAL2Kw (Pelletier e Chapra, 2006). A calibração obtida foi satisfatória, para a maior parte dos parâmetros em análise. Desta forma foi possível calcular, por simulação dinâmica a qualidade da água para as três épocas do ano hidrológico de 2010.

5 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

5.1 Introdução

A Hidrologia é a ciência que estuda a ocorrência, distribuição e movimentação da água na Terra (Chow, 1959). Atualmente, a definição foi ampliada para incluir aspectos de qualidade da água, ecologia, poluição e descontaminação. Pode assim referir-se que, a hidrologia estuda o ciclo da água ou ciclo hidrológico na Terra. O ciclo hidrológico refere-se ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotes de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, escoo pelas bacias hidrográficas e circula através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou infiltra-se nos solos e nas rochas alimentando o escoamento subterrâneo (Figura 5.1).



Figura 5.1 - Ciclo Hidrológico (site da USGS, 2010)

É possível ao Homem captar a água no ciclo hidrológico, principalmente nas bacias hidrográficas, influenciando deste modo a circulação e a qualidade da água dos rios. A água utilizada pelo homem nem sempre é devolvida em condições adequadas ao ambiente, além disso, principalmente nas cidades, a impermeabilização desordenada do solo, também interfere no ciclo da água. O Homem interfere no processo natural do ciclo hidrológico, onde acarreta diversos problemas, como por exemplo, inundações em algumas regiões e seca noutras. O simples facto de poluir os solos, através da má instalação de aterros sanitários, uso de pesticidas e fertilizantes na agricultura, a descarga de águas residuais domésticas e industriais nos cursos de água, a emissão de poluentes para a atmosfera contribui para a alteração do ciclo natural (Direcção-Geral dos Recursos Naturais, 1988).

As características das bacias hidrográficas, como por exemplo a disponibilidade hídrica, é um dos fatores que influencia a qualidade da água, tornando obrigatório o conhecimento do comportamento hidrológico de um curso de água de uma bacia hidrográfica quando se realizam estudos de impactes de poluentes nesses mesmos cursos de água. No presente estudo, para caracterizar a bacia hidrográfica utilizou-se o ArcMap, ferramenta do software ArcGIS da ESRI, que permitiu processar espacialmente a informação da base de dados da Agência Portuguesa do Ambiente (Agência Portuguesa do Ambiente, 2010).

5.2 Localização Geográfica

A bacia hidrográfica relativa ao curso da ribeira da Lória em estudo, com um comprimento de 24,72 Km, localiza-se no centro de Portugal (Figura 5.2), distrito e concelho de Castelo Branco (Figura 5.3 e 5.4), e caracteriza-se por possuir uma área próxima de 81,03 km². Encontra-se, na sua quase totalidade, inserida nas freguesias de Castelo Branco e Alcains. A bacia hidrográfica integral da ribeira da Lória possui uma área aproximada de 113,28 km² e um comprimento do curso de água de 36,33 km e constitui uma das principais sub-bacias da bacia do rio Ocreza na margem esquerda, que por sua vez, representa uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo.

A ribeira da Lória nasce a norte de Alcains e desenvolve-se com orientação nordeste-sudoeste até confluir no rio Ocreza. Nas imagens seguintes é apresentada a localização da bacia em estudo.

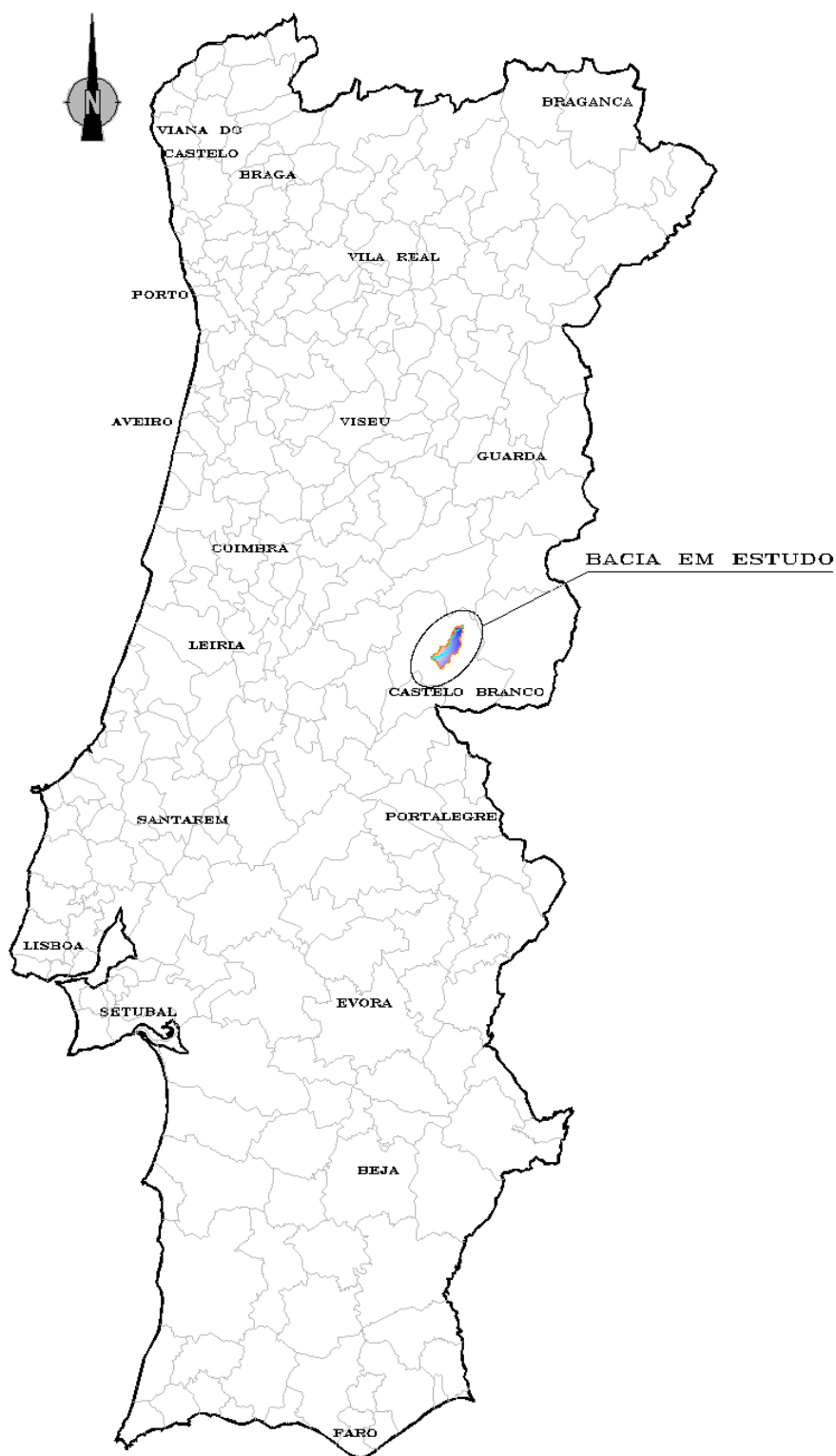


Figura 5.2 - Localização da Bacia Hidrográfica em estudo em Portugal

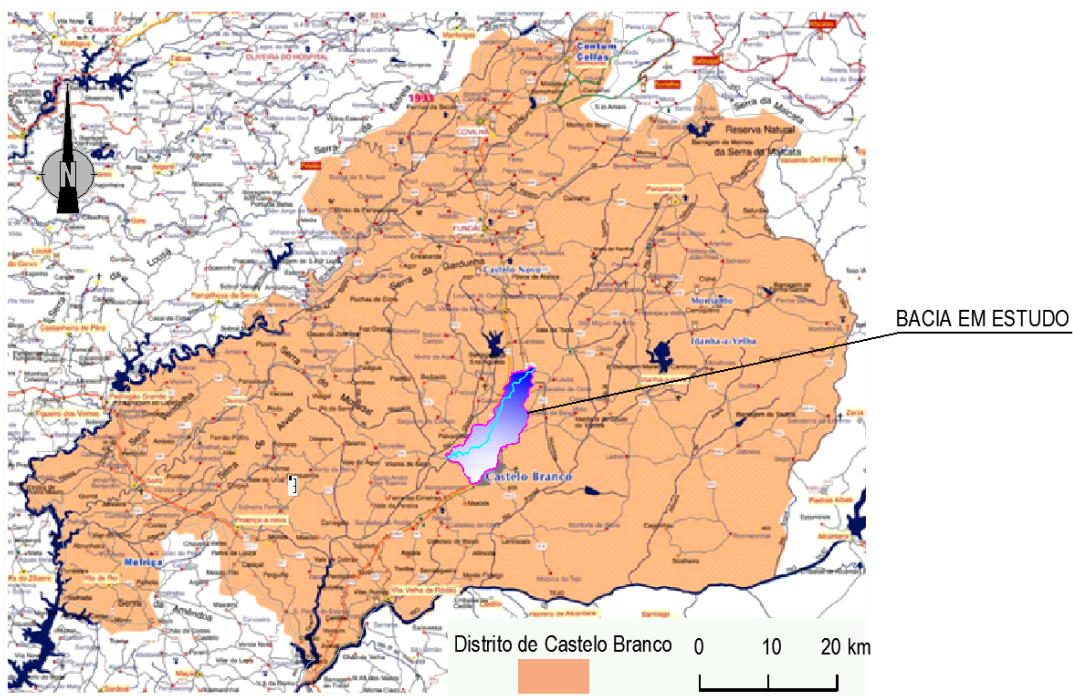


Figura 5.3 - Localização da Bacia Hidrográfica em estudo no Distrito de Castelo Branco



Figura 5.4 - Localização da Bacia Hidrográfica em estudo no concelho de Castelo Branco

5.3 Geologia

O concelho de Castelo Branco é constituído em grande parte por xistos do Complexo Xisto-Graváquico que, em geral, se encontram muito alterados, e por granitos variados, apresentando uma variabilidade nas formas de relevo. A zona xistosa predomina na parte ocidental do concelho, nas freguesias de Alameda, Sarzedas, Benquerenças, Retaxo e Cebolais. A zona granítica estende-se na parte central do concelho de Castelo Branco, com limite a sul junto, à cidade de Castelo Branco. Na zona de contacto entre o xisto e o granito formou-se uma franja onde os xistos se apresentam metamorfizados, correspondente à auréola de metamorfismo de contacto (Câmara Municipal de Castelo Branco, 2006).

A falha do Ponsul estabelece o limite entre a plataforma de granitos e xistos de Castelo Branco e a zona das arcoses da Beira Baixa.

A bacia do curso da ribeira da Líria em estudo insere-se na plataforma aplanada do concelho de Castelo Branco, estando quase na totalidade inserida numa área de granitos e apenas no final da bacia, ocorre uma zona de xistos (Figura 5.5).

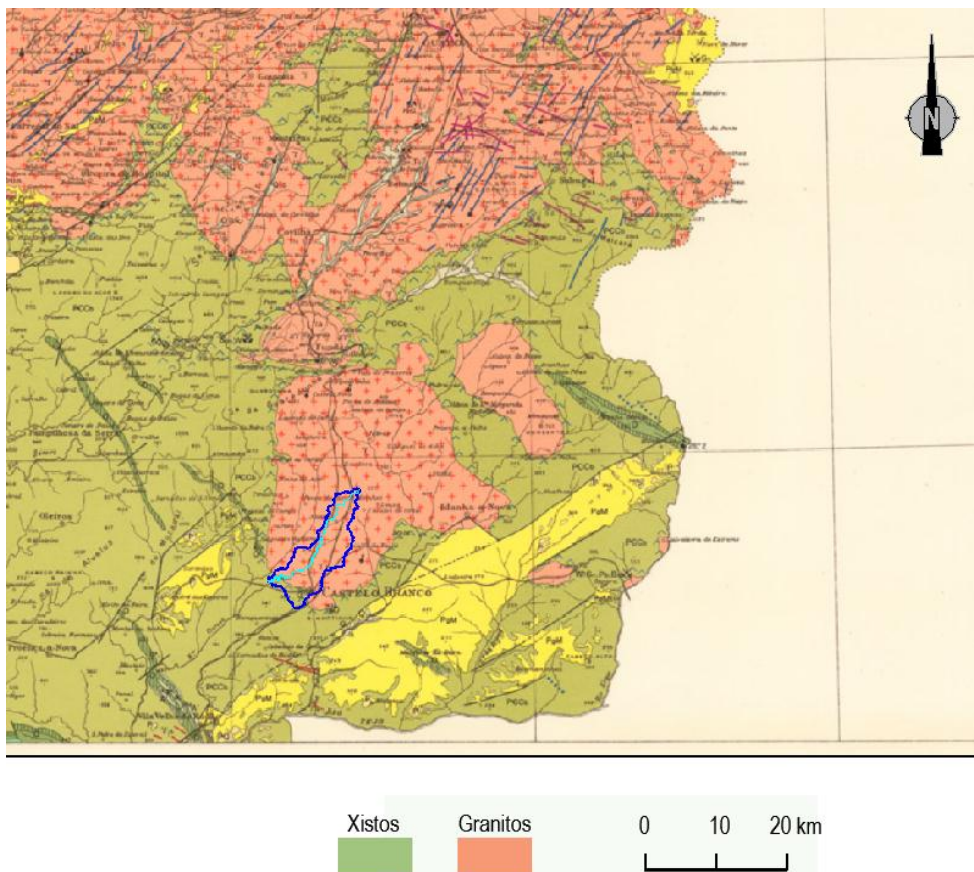


Figura 5.5 - Carta Geológica de Portugal (Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, 1972)

5.4 Morfologia do Terreno

A bacia da ribeira da Líria apresenta uma forma alongada, com altitudes compreendidas aproximadamente entre 480 m e 275 m (Figura 5.6). Devido à sua forma alongada, a bacia terá tendência a desenvolver escoamentos mais distribuídos no tempo produzindo assim cheias de menor amplitude.

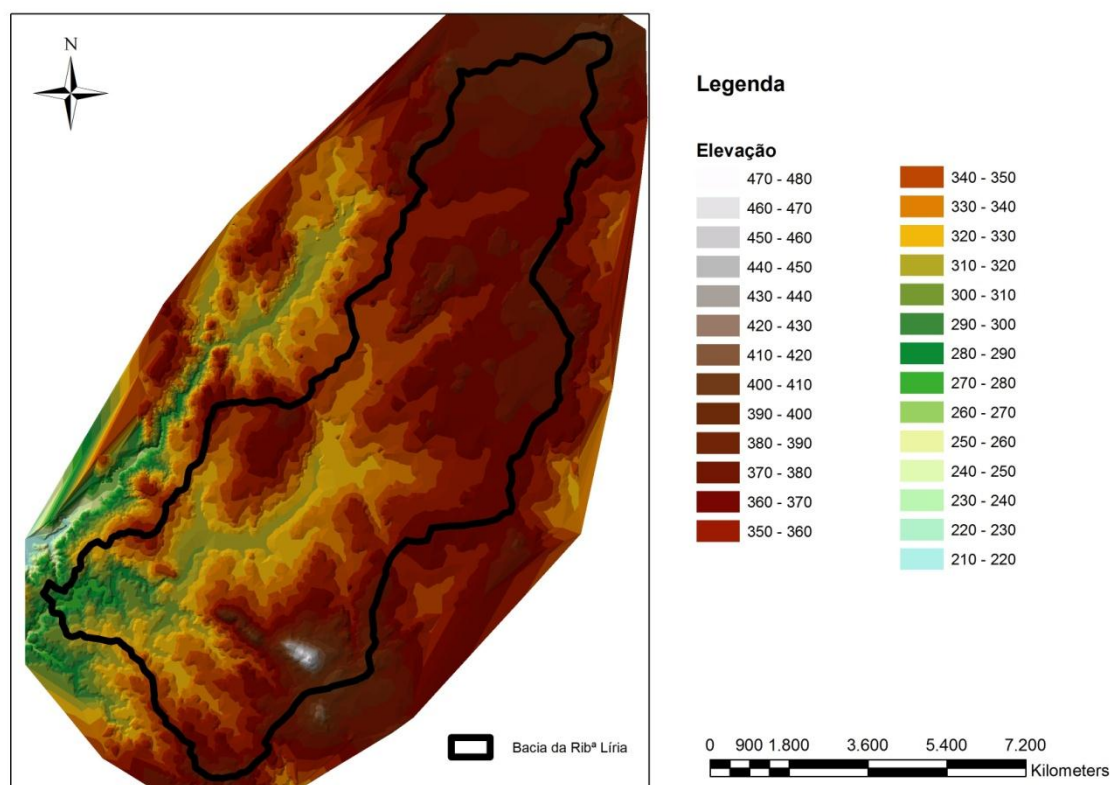


Figura 5.6 - Carta Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do curso da ribeira da Líria

A cota mais elevada, 480 m, situa-se no local de implantação do castelo da cidade de Castelo Branco, na parte norte as cotas mais elevadas situam-se próximo dos 400m. Cerca de 80% da bacia hidrográfica situa-se acima da cota de 300m, configurando assim um relevo bastante homogêneo (Figura 5.6).

5.5 Hidrografia

O concelho de Castelo Branco faz parte da bacia hidrográfica do rio Tejo e é drenado por várias sub-bacias, sendo as mais importantes a bacia do rio Ocreza e a bacia do rio Ponsul que drenam, respetivamente, cerca de 60% e de 35% da área do concelho. A rede hidrográfica densa resulta das características do substrato rochoso e do clima. As linhas de água caracterizam-se por serem de regime temporário, apresentando a maioria delas um caudal nulo durante os meses de verão (Câmara Municipal de Castelo Branco, 2006). A rede hidrográfica da bacia do curso da ribeira da Líria (Figura 5.7) pode ser classificada como dendrítica, uma vez que é constituída por um conjunto de ramos formados pelas linhas de água afluentes à ribeira da Líria (Figura 5.8).

Este tipo de rede é consequência da presença de materiais rochosos com alguma homogeneidade, sobretudo na resistência à erosão face ao escoamento superficial.

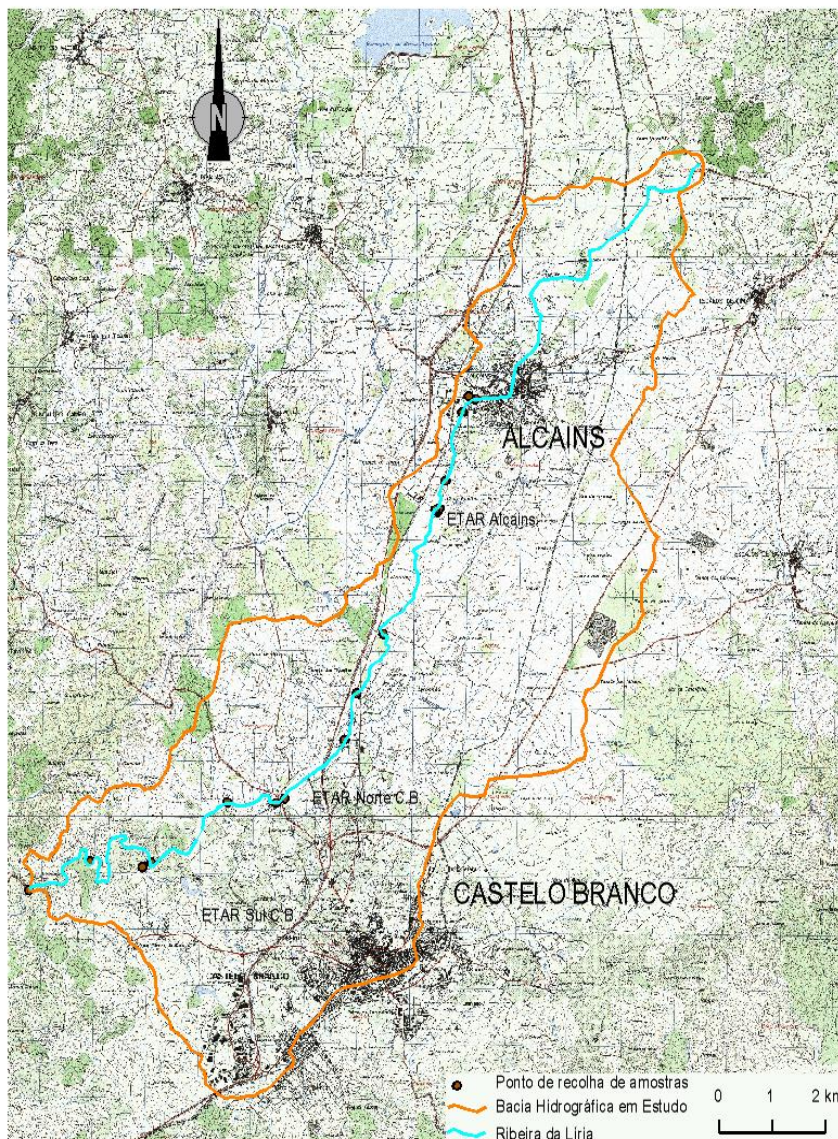


Figura 5.7 - Bacia Hidrográfica do curso da ribeira da Lória

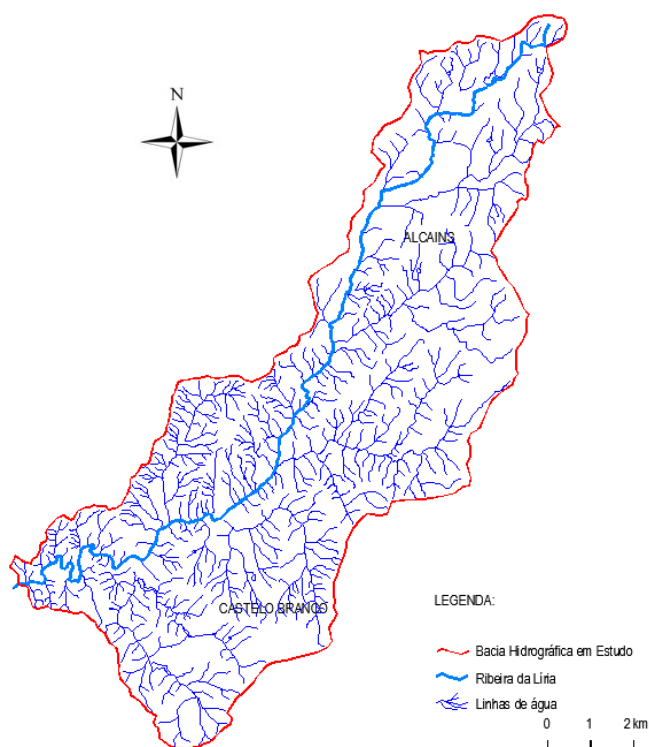


Figura 5.8 - Linhas de água afluentes do curso da ribeira da Lória

A ribeira da Lória, de acordo com a constância do caudal, classifica-se como intermitente (Lança, 2011), porque apresenta caudal durante a ocorrência de chuvas, dado que o nível freático mantém-se acima do leito fluvial; o que não ocorre na época da estiagem. A variabilidade dos seus caudais ao longo do ano hidrológico é muito grande, verificando-se caudais muito baixos durante a época de estiagem e mais elevados nas épocas de ocorrência de chuva.

5.6 Clima

Vários fatores climáticos podem influenciar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, podendo ser destacada a intensidade de precipitação e a evapotranspiração. Através dos dados disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente (Agência Portuguesa do Ambiente, 2010) que se introduziram no programa de processamento de dados, no módulo ArcMap do ArcGis, obtém-se a seguinte distribuição da precipitação média anual na bacia hidrográfica em estudo (Figura 5.9):

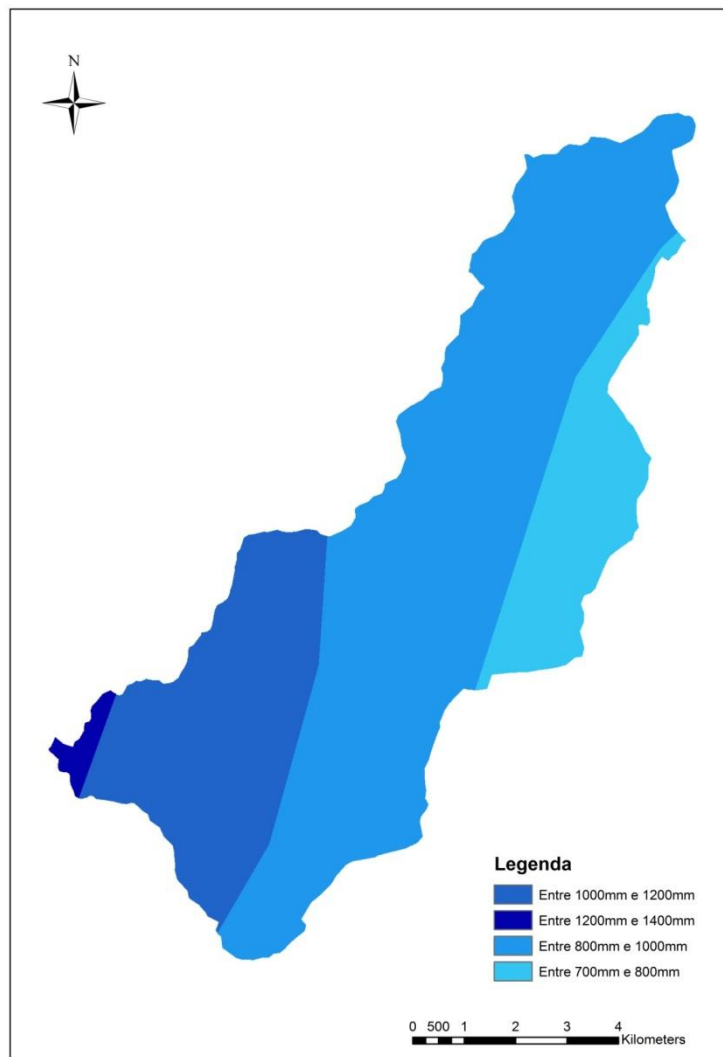


Figura 5.9 - Precipitação média anual na bacia hidrográfica do curso da ribeira da Lória

Pela observação da figura 5.9, verifica-se que a precipitação média anual é superior na região oeste da bacia comparativamente com a região este; constituindo um gradiente positivo no sentido este - oeste.

Com base nos dados disponibilizados pela APA relativos à evapotranspiração média anual, contata-se que se situa entre os 500 e os 600 mm para toda a bacia em estudo (Figura 5.10).

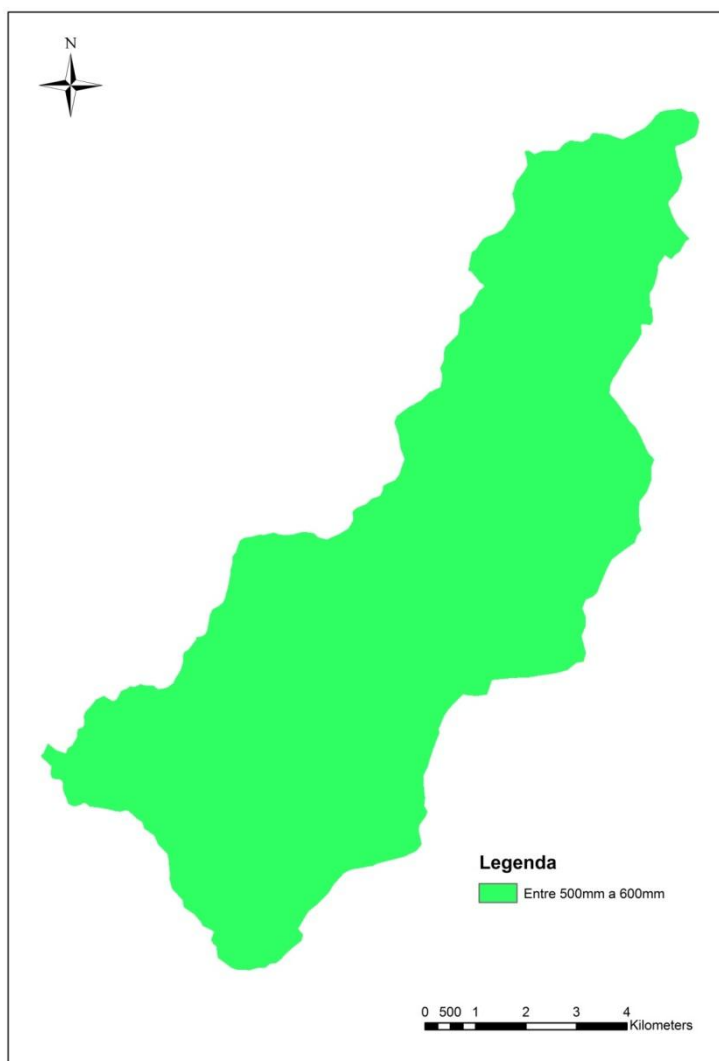


Figura 5.10 - Evapotranspiração média anual na bacia hidrográfica do curso da ribeira da Lória

A temperatura do ar é um parâmetro necessário introduzir como dado de entrada no software QUAL2Kw, sendo utilizada nos cálculos das simulações. Para determinar as temperaturas médias mensais do ar recorreu-se aos dados registados na estação meteorológica de Abrantes, obtendo-se os valores descritos na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Temperatura média mensal do ar nos meses da realização das campanhas de amostragem

	Janeiro	Abril	Junho
Temperatura Média Mensal (°C)	10,4	15,50	21,5

A determinação dos caudais necessários para realizar as simulações no software QUAL2Kw não foi possível de ser obtida através de caudalímetros; pelo que o cálculo dos caudais foi estimado através da fórmula de Giandotti (Giandotti, 1953) e com os valores de precipitação registados nos períodos em que decorreram as recolhas das amostras.

Assim sendo, para a obtenção dos dados relativos à precipitação mensal do ano hidrológico 2009/2010 foi selecionada a estação udométrica automática do Ladoeiro e com base nesses

valores de precipitação determinaram-se os caudais de cada sub-bacia considerada, como contribuições pontuais (Figura 5.11).

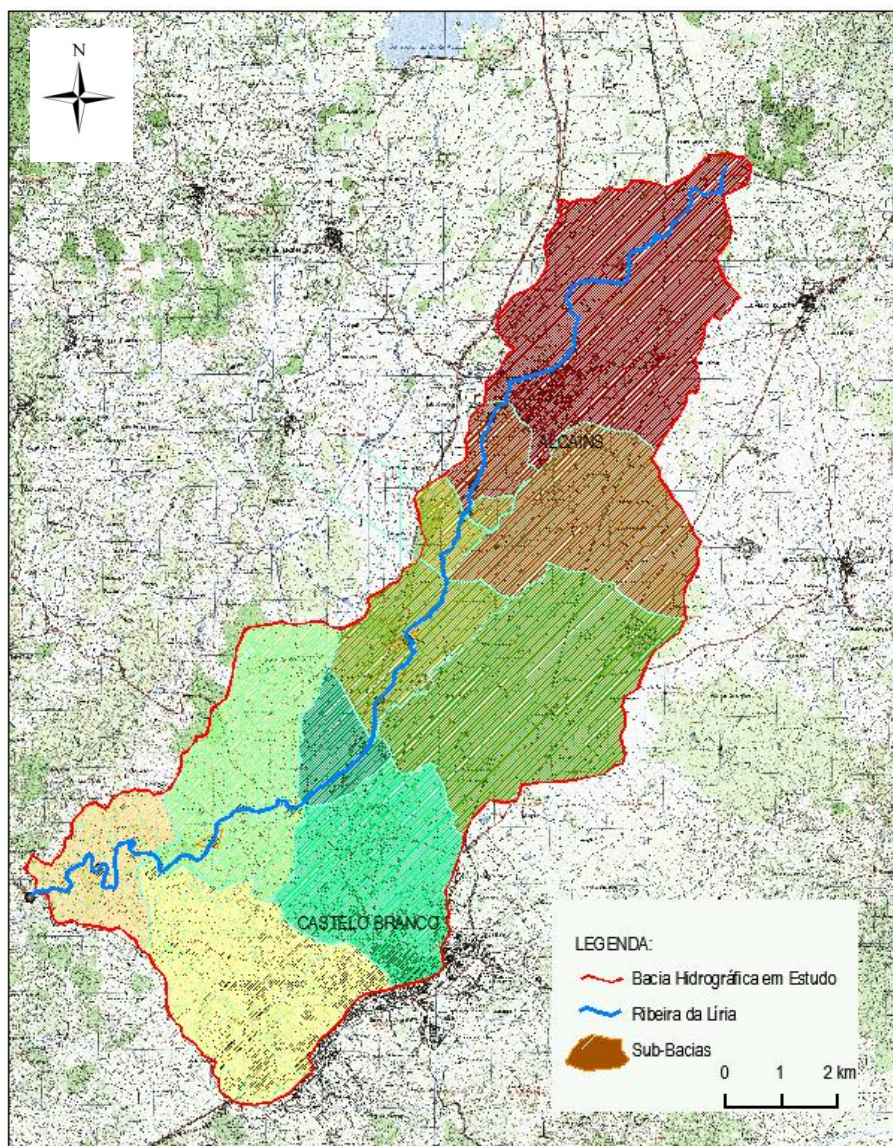


Figura 5.11 - Principais sub-bacias do curso da ribeira da Lória

A precipitação concentra-se principalmente nos meses compreendidos entre Outubro e Abril, conforme se pode observar na tabela 5.2, relativa à precipitação média mensal registada na estação udométrica do Ladoeiro.

Tabela 5.2- Precipitação média mensal na estação do Ladoeiro nos últimos cinco anos hidrológicos (mm)

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

5.7 Uso do Solo

No que refere ao uso do solo na bacia em estudo, constata-se que predomina o uso florestal, seguido do uso complexo (várias utilizações) e agrícola, surgindo as áreas sociais com menor ocupação na bacia; correspondendo à cidade de Castelo Branco e à vila de Alcains (Figura 5.12).

Com base na informação disponibilizada pela APA a distribuição do uso do solo na bacia caracteriza-se da seguinte forma:

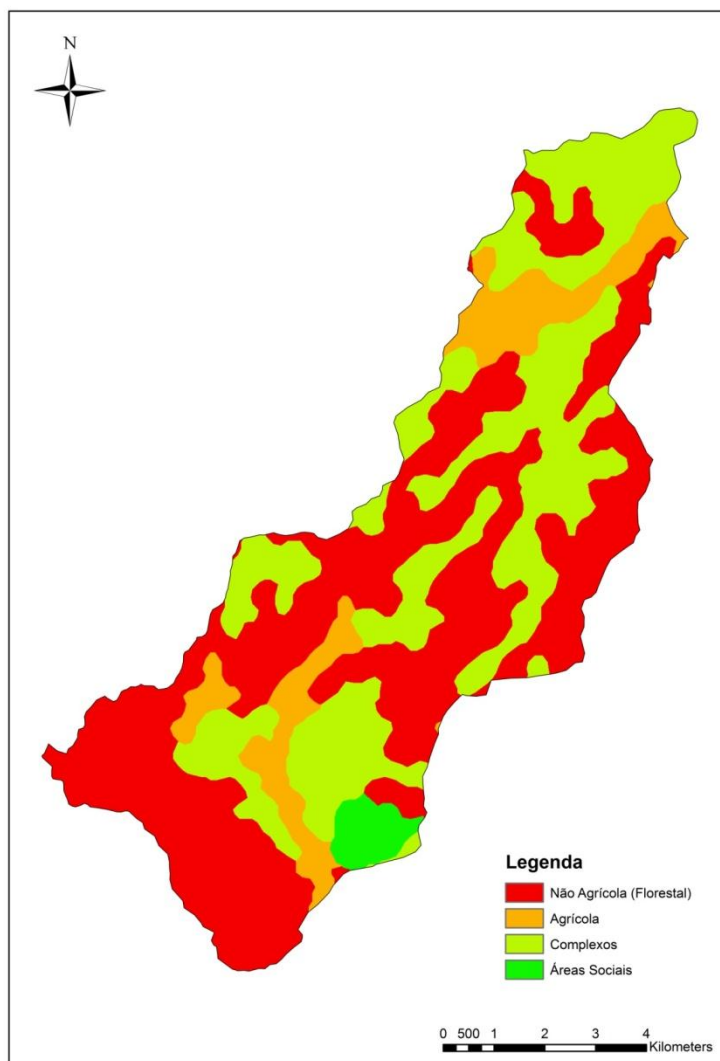


Figura 5.12 - Uso do solo na bacia hidrográfica do curso da ribeira da Lória

Salienta-se o facto da vila de Alcains não ter sido representada como área social mas sim como área agrícola, este facto deve-se a um erro na base de dados fornecidos pela APA.

6 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

A qualidade da água é avaliada em função dos seus principais usos encontrando-se estabelecido no quadro legislativo em vigor, os critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas. O presente trabalho circunscreve-se à avaliação da qualidade da água no âmbito das águas superficiais.

Neste capítulo, com base nas análises realizadas às amostras de água recolhidas, efetuou-se uma análise da qualidade da água com base em dois critérios de avaliação: Anexo XXI do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, que define os objetivos ambientais de qualidade mínima para as águas superficiais (Diário da República, 1998) e numa grelha paramétrica para usos múltiplos definida pelo INAG (INAG, 1998).

De acordo com o disposto no número 5 do artigo 46.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro devem ser definidos, em normas a aprovar, os critérios para a classificação do Estado Ecológico das águas de superfície. No entanto, as elevadas exigências da Diretiva-Quadro da Água (DQA), aliadas à integração de novos elementos de qualidade nos programas de monitorização e consequentemente no sistema de classificação a adotar, têm dificultado esta tarefa. Deste modo, as limitações detetadas inviabilizaram a comparabilidade e harmonização entre os valores da classificação dos sistemas de monitorização do Estado Ecológico, obrigando ao prolongamento deste Exercício até 2011 (INAG, 2009).

Deste modo, foram considerados os referidos critérios como os mais adequados ao tipo de recurso hídrico em estudo, tendo em conta que são os critérios que até ao momento foram utilizados pelas entidades responsáveis pela gestão dos cursos de água superficiais para avaliar a qualidade dessas águas.

6.1 Avaliação da Qualidade da Água

Para se avaliar o estado da qualidade da água com base nos critérios referidos é necessário caracterizar parâmetros físicos, químicos e biológicos do curso de água que servirão de indicadores. As campanhas de recolha de amostras visaram essencialmente recolher a informação necessária à caracterização da qualidade das águas superficiais, tendo em consideração as descargas efetuadas pelas ETARs, detetando variações da qualidade ao longo das três campanhas realizadas.

Nos capítulos seguintes serão descritos os vários parâmetros utilizados no presente trabalho para avaliar a qualidade da água no curso da ribeira da Lória.

6.1.1 Parâmetros Físico-Químicos

6.1.1.1 Temperatura da Água

A temperatura é um parâmetro de grande importância que influencia a velocidade das reações químicas, a solubilidade dos gases e a taxa de crescimento dos microrganismos (Sousa, 2001). No entanto, as variações de temperatura nos cursos de água são dependentes do regime

climático sendo natural apresentarem variações sazonais e diurnas. De um modo geral, a elevação invulgar da temperatura numa linha de água é geralmente provocada por poluição industrial; sendo designada por poluição térmica.

6.1.1.2 Potencial Hidrogeniónico (pH)

O potencial de hidrogénio iónico ou pH é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio. A água pode ser ácida, neutra ou alcalina, respectivamente, para valores de pH inferiores, iguais ou superiores a sete, respetivamente. O valor do pH influencia os equilíbrios físico-químicos que se estabelecem numa água.

O pH, para além de controlar a maior parte das reacções químicas na natureza, controla, também a actividade biológica (Sousa, 2001). O pH é influenciado, em parte, pela natureza dos materiais litológicos que a água atravessa.

6.1.1.3 Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)

Representa a quantidade de oxigénio necessário para degradar, por via biológica, a matéria orgânica oxidável presente na água. Como este processo de oxidação é relativamente lento, convencionou-se como parâmetro representativo do teor de matéria orgânica na água, o valor da CBO ao fim de cinco dias de incubação a 20 °C (CBO₅) (Albuquerque, 1997).

Valores elevados de CBO são indicativos de águas poluídas e com baixos valores de oxigénio dissolvido (OD), uma vez que é consumido nas reacções de degradação.

6.1.1.4 Oxigénio Dissolvido (OD)

Corresponde à quantidade de oxigénio presente na água. O seu teor é um parâmetro essencial no controlo da qualidade da água, dado que, se a sua concentração baixar para níveis críticos, os organismos aquáticos que realizam respiração aeróbia não sobrevivem.

Devido às diferenças de pressão ocorridas, o oxigénio proveniente da atmosfera dissolve-se nos cursos de águas. A reintrodução de oxigénio dissolvido através da superfície depende das características hidráulicas dos cursos de água e é proporcional à sua velocidade. Principalmente em águas eutrofizadas, outra importante fonte de oxigénio é a fotossíntese das algas.

A quantidade de oxigénio dissolvido depende de diversos fatores, por exemplo um aumento da temperatura conduz a uma diminuição do teor em oxigénio dissolvido porque diminui a sua solubilidade e aumenta o número de microrganismos consumidores de oxigénio (Sousa, 2001).

6.1.1.5 Carência Química de Oxigénio (CQO)

A carência química de oxigénio é a quantidade de oxigénio necessária para degradar, por via química, através de um agente oxidante químico forte como o dicromato de potássio, a matéria orgânica oxidável existente na água (Sousa, 200).

Valores elevados de CQO são indicadores de águas poluídas e com baixos valores de oxigénio dissolvido (OD).

6.1.1.6 Sólidos Suspensos Totais (SST)

Os sólidos suspensos totais correspondem a todos os materiais existentes na água sob a forma suspensa. Elevadas quantidades de sólidos suspensos provocam a turvação da água impedindo a entrada da luz solar nos meios aquáticos reduzindo a fotossíntese e nos peixes podem provocar a sufocação ou danificação das guelras (Pita, 2002).

6.1.1.7 Sólidos Totais Dissolvidos (SDT)

Os sólidos totais dissolvidos incluem moléculas orgânicas e inorgânicas que estão em solução na água. A presença de sólidos totais dissolvidos em elevadas concentrações ao longo de um curso de água afecta de forma negativa a vida aquática porque interfere com a actividade biológica dos organismos aquáticos, uma vez que actuam sobre a pressão osmótica (Pita, 2002).

6.1.1.8 Fósforo Total (P_{total})

A principal fonte de fósforo nas águas naturais é proveniente das descargas das estações de tratamento de águas residuais domésticas, devido aos detergentes fosfatados utilizados. Outras importantes fontes de fósforo são as descargas de águas residuais de matadouros, indústrias de fertilizantes, químicos e lacticínios (Albuquerque, 1997).

O fósforo é um elemento essencial no crescimento de algas e outros organismos biológicos podendo desencadear fenómenos de eutrofização do curso de água, pelo que representa um importante parâmetro no controlo da qualidade da água.

6.1.1.9 Azoto Total (N_{total})

O azoto pode existir nos cursos de água na forma de azoto orgânico e azoto inorgânico. De um modo geral, as formas orgânicas predominam sobre as formas inorgânicas. O azoto inorgânico é constituído principalmente por azoto amoniacal, nitritos e nitratos.

O azoto é lançado para o meio hídrico principalmente pelas descargas de águas residuais doméstica e industriais (Albuquerque, 1997).

Os teores elevados de azoto nos cursos de água representam uma clara deterioração da sua qualidade tornando-a imprópria para vários usos. A entrada de elevadas quantidades de azoto em cursos de água, com reduzido caudal, pode potenciar o aparecimento de fenómenos de eutrofização, com diminuição do oxigénio dissolvido, e promover o aparecimento de subprodutos como as nitrosaminas, correspondentes a agentes de doenças (Albuquerque, 1997).

6.1.1.10 Potencial de Oxidação-Redução (Eh)

O potencial de oxidação-redução é um parâmetro que mede a voltagem originada na transferência de eletrões entre as espécies químicas que interagem em meio aquático. O potencial de oxidação-redução determina a característica do ambiente quanto à fugacidade de oxigénio. Valores mais elevados indicam uma maior disponibilidade de oxigénio dissolvido nas águas, ou seja tendem a encontrar-se menos poluídas (Magalhães, 2006).

6.1.1.11 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica está diretamente relacionada com a quantidade de sais dissolvidos ionizados dissolvidos na água; pelo que se relaciona diretamente com os sólidos totais dissolvidos. Quanto maior for a condutividade elétrica dos cursos de água, maior será o seu estado de poluição (Albuquerque, 1997).

6.1.2 Parâmetros Biológicos e Bacteriológicos

6.1.2.1 Coliformes Fecais

São bactérias patogénicas que estão presentes no trato intestinal dos animais de sangue quente. É habitual considerar a contagem de bactérias coliformes como um indicador da presença de microrganismos patogénicos (Albuquerque, 1997). A sua origem mais frequente é proveniente dos efluentes das ETAR para os quais não foi realizado um tratamento adequado.

Só por si, estas bactérias não são perigosas, mas a sua presença indica a contaminação da água por matérias fecais, representando um risco de que a água esteja contaminada com espécies intestinais patogénicas causadoras de infeções graves.

6.2 Autodepuração

A introdução de substâncias, materiais ou organismos poluentes, em massas de água tem efeitos diversificados sobre os mesmos em função da quantidade, características dos poluentes introduzidos e características do meio recetor ao nível do regime hidrodinâmico, perfil, profundidade, caudal, que influenciam a sua capacidade de reagir à entrada de poluentes (Albuquerque, 1997).

Os cursos de água possuem capacidade natural de autodepuração que é realizada por meio de processos físicos (diluição, sedimentação), químicos (oxidação) e biológicos. No entanto, é maioritariamente um processo biológico em que os microrganismos decompõem o excesso de matéria orgânica em produtos finais estáveis; como sejam os nitritos, nitratos e fosfatos que podem ser absorvidos pelas plantas (Albuquerque, 1997).

A capacidade de autodepuração de um curso de água tem comportamentos diferentes em função do tipo de compostos poluentes, recuperando mais rapidamente quando ocorre com

compostos orgânicos de fácil biodegradabilidade e, mais lentamente, quando se trata de compostos de difícil biodegradabilidade.

O comportamento e concentração de substâncias em cursos de água varia espacial e temporalmente, em função das características hidrodinâmicas dos mecanismos de sedimentação e transporte. Sabendo que capacidade de autodepuração é diferente para cada curso de água, torna-se necessário elaborar estudos específicos para cada curso de água com o objectivo de determinar a sua capacidade de autodepuração.

A concentração de oxigénio dissolvido é o principal indicador das condições de autodepuração de um curso de água. As principais fontes de oxigénio num curso de água são os fluxos tributários provenientes de outros cursos de água, associados aos processos de fotossíntese e rearejamento atmosférico, enquanto as principais perdas de oxigénio são devidas a oxidação biológica da matéria orgânica, respiração dos seres vivos aquáticos e oxidação de resíduos industriais (Albuquerque, 1997).

Assim, segundo Von Sperling (1995) é o balanço entre as fontes de consumo (decomposição) e as fontes de produção (recuperação) de oxigénio, influenciado pelas características hidráulicas do curso de água, que torna possível o restabelecimento das condições naturais da linha de água. A partir destas, é possível distinguir quatro zonas de ação, ou sucessão, as quais descrevem todo o processo autodepurativo ao longo do rio, logo após o lançamento da carga poluidora.

A autodepuração, após a descarga poluente, desenvolve-se ao longo de uma linha de água no sentido montante-jusante. É habitual traçar-se graficamente a evolução da concentração de OD ao longo do curso de água; esta curva é denominada por curva Sag. Na Figura 6.1 apresenta-se esquematicamente o processo de autodepuração acompanhado da curva Sag típica, da curva de carência Bioquímica de oxigénio (CBO) e das zonas que descrevem a evolução do processo.

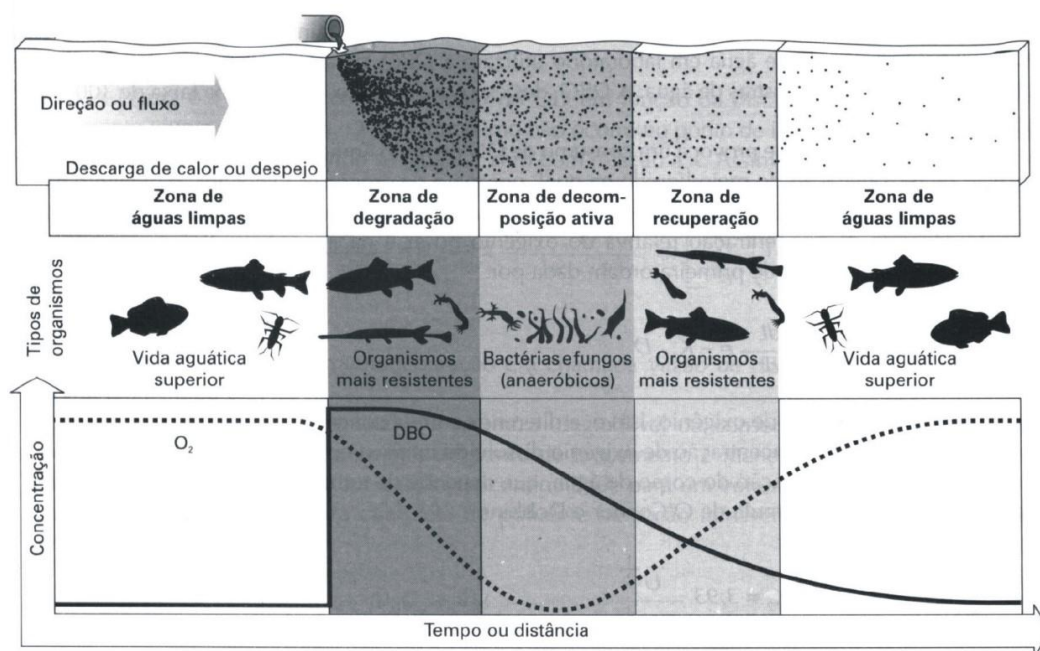


Figura 6.1 - Representação esquemática do processo de autodepuração (Santana, 2008)

A zona de decomposição (zona de degradação) tem início logo após o lançamento das águas residuais no curso de água, apresentando elevada concentração de matéria orgânica e caracteriza-se por uma diminuição inicial da concentração de oxigénio dissolvido e elevados valores de CBO (Figura 6.1). A zona séptica (zona decomposição activa) corresponde à fase de maior perturbação no ecossistema, em que a água se apresenta no estado mais poluído, e é atingido o valor mínimo de oxigénio dissolvido. De um modo geral, os peixes não sobrevivem nesta zona (Figura 6.1).

A zona de recuperação inicia-se após um intenso consumo de matéria orgânica e de degradação do ambiente aquático, em que o teor de reoxigenação é superior ao consumo de oxigénio na oxidação da matéria orgânica, aumentando o nível de oxigénio dissolvido na água e verificando-se a redução na quantidade de bactérias e fungos, acompanhada do aumento de peixes (Figura 6.1).

No final do processo de autodepuração surge a zona não poluída, voltando a ser retomadas as condições naturais anteriores à receção da fonte de poluição, no que diz a respeito ao oxigénio dissolvido, matéria orgânica e seres vivos aquáticos.

6.3 Monitorização da Qualidade da Água

A monitorização das águas superficiais tem por principal função avaliar o estado físico-químico e ecológico, em função de requisitos impostos na legislação e em normas.

A monitorização visa, ainda, a vigilância do estado ecológico dos cursos de água e quando necessário investigar as causas de poluição; garantindo a avaliação das alterações da qualidade da água provocadas pela atividade humana.

Segundo o definido pelo INAG (2010): “Para todos os programas de monitorização, a frequência de amostragem estabelecida deve permitir a obtenção de resultados com um nível aceitável de confiança e precisão. Assim, a monitorização deve ser programada com o objetivo de fornecer os dados necessários para a análise de fatores, como a variabilidade dos parâmetros em condições naturais ou alteradas e a variabilidade sazonal dos mesmos”.

Neste sentido, no início do presente estudo foi elaborado um plano de amostragem que teve como principal objetivo a seleção de pontos críticos e significativos para o estudo, como seja a recolha de pontos a montante e a jusante das descargas das ETAR e distribuir os restantes ao longo da ribeira da Liria, de forma o mais equidistante possível. Em termos temporais, considerou-se essencial proceder à recolha em três épocas diferentes do ano hidrológico 2009/2010 (Janeiro, Abril e Junho de 2010), de modo a integrar a variabilidade sazonal nos dados de base do estudo.

6.3.1 Amostragem

O plano de amostragem foi estabelecido tendo em consideração que em Portugal o ano hidrológico se inicia no dia 1 de Outubro e termina no dia 30 de Setembro do ano seguinte, pois no final do período de verão, as reservas de água no solo estão próximas do seu limite mínimo.

Assim sendo, e como referido anteriormente, realizaram-se três campanhas de amostragem de água durante o ano hidrológico de 2010, correspondentes à estação chuvosa (15 de Janeiro), intermédia (9 de Abril) e seca (4 de Junho).

Os pontos de amostragem de água foram distribuídos de forma aproximadamente equidistante, ao longo do curso de água com 17.3 km de comprimento, desde o primeiro ponto ao último ponto de recolha, na ribeira da Lória, permitindo uma segmentação da ribeira da Lória em troços aproximadamente da mesma ordem de grandeza. Os pontos de recolha críticos assim distribuídos, perfizeram um total de dezoito pontos de recolha (Figura 6.2). Todos os pontos de amostragem foram georreferenciados com recurso à interface ArcPad, permitindo uma mais fácil e precisa localização espacial *in situ*.

O primeiro ponto de água situa-se junto ao pontão, sobre a ribeira da Lória inserido na zona de lazer de Alcains, e localizado aproximadamente 3,5 km a montante do ponto de descarga da ETAR de Alcains (AL1; Figura 6.3); o segundo ponto de água foi recolhido na estação elevatória de Alcains, situada na referida zona de lazer, que encaminha as águas residuais para a ETAR de Alcains (AL2; Figura 6.4). Com base na informação disponível, é conhecido o significativo contributo do matadouro de Alcains na poluição da ribeira da Lória; pelo que foi selecionado como terceiro ponto de recolha, a caixa de visita do coletor residual proveniente do matadouro de Alcains (AL3; Figura 6.5). O quarto ponto de água está localizado a jusante das descargas do matadouro de Alcains e de descargas provenientes de outras unidades industriais locais; como por exemplo a fábrica Lusitana (AL4; Figura 6.6). O quinto ponto de água (AL5; Figura 6.7) localiza-se aproximadamente equidistante, entre o ponto AL4 e AL6, imediatamente a jusante. O sexto ponto de água (AL6; Figura 6.8) situa-se a montante da ETAR de Alcains, enquanto que o sétimo ponto de água foi estabelecido na caixa de saída da ETAR de Alcains (AL7; Figura 6.9), e o oitavo imediatamente a jusante desta descarga (AL8; Figura 6.10). Os pontos de água nove (AL9; Figura 6.11), dez (AL10; Figura 6.12) e onze (AL11; Figura 6.13) foram colhidos separadamente o mais equidistante possível, em função das acessibilidades. Os pontos de água doze (AL12; Figura 6.14) e treze (AL13; Figura 6.15) situam-se a montante e a jusante, respetivamente, da linha de água que transporta as descargas da ETAR Norte de Castelo Branco para a ribeira da Lória. Em sequência, recolheu-se a amostra catorze (AL14; Figura 6.16) situada entre a descarga da ETAR Norte e a descarga da ETAR Sul de Castelo Branco, enquanto que a amostra de água quinze (AL15; Figura 6.17) foi colhida a montante da confluência com a ribeira da Seta, que conduz a descarga da ETAR Sul de Castelo Branco para a ribeira da Lória, e a amostra de água dezasseis (AL16; Figura 6.18), obtida na ribeira da Seta, próxima da confluência com a ribeira da Lória. Os dois últimos pontos de água, correspondem ao final do curso da ribeira da Lória e estão referenciados por pontos dezassete (AL17; Figura 6.19) e dezoito (AL18; Figura 6.20) (Figura 6.2.).

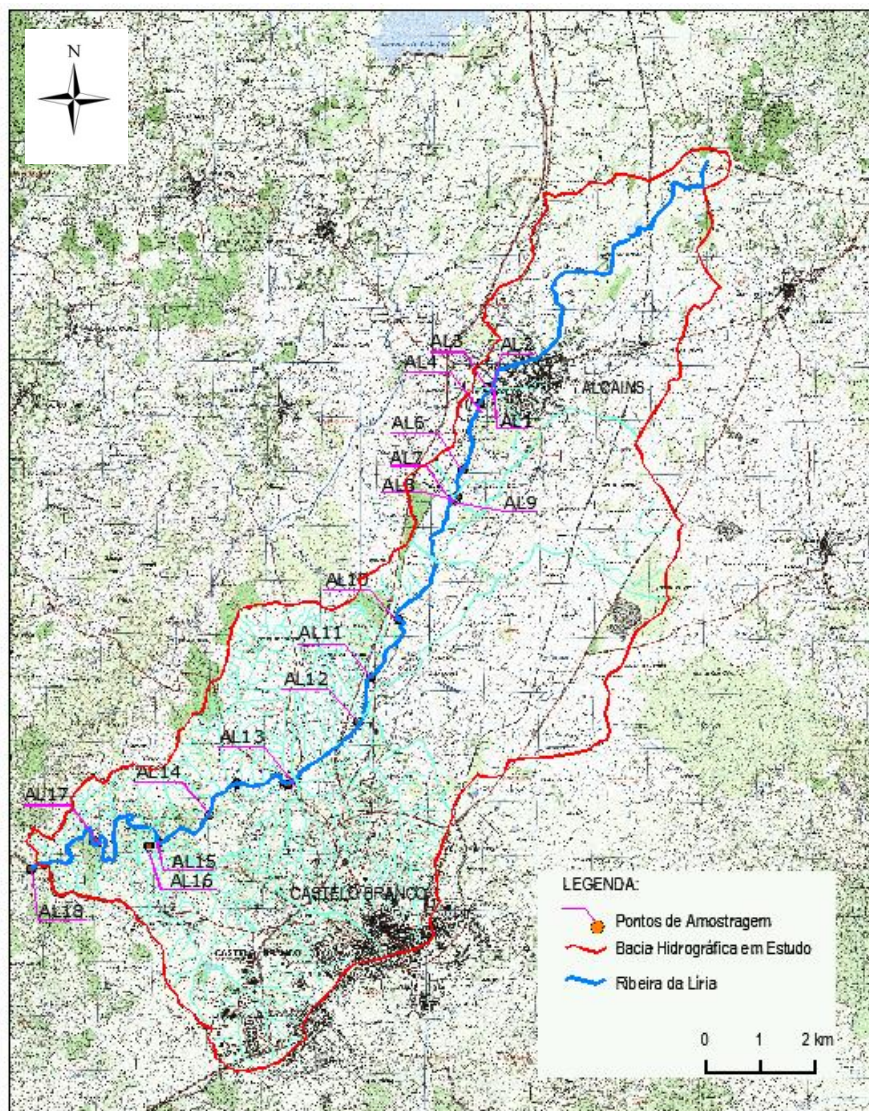


Figura 6.2 - Localização dos pontos de recolha de água na bacia da ribeira da Liria



Figura 6.3 - Localização do ponto de colheita AL1 - 1ª Campanha



Figura 6.4 - Localização do ponto de colheita AL2 - 1ª Campanha



Figura 6.5 - Localização do ponto de colheita AL3 - 1ª Campanha



Figura 6.6 - Localização do ponto de colheita AL4 - 1ª Campanha



Figura 6.7 - Localização do ponto de colheita AL5 - 1ª Campanha



Figura 6.8 - Localização do ponto de colheita AL6 - 1ª Campanha



Figura 6.9 - Localização do ponto de colheita AL7 - 1ª Campanha



Figura 6.10 - Localização do ponto de colheita AL8 - 1ª Campanha



Figura 6.11 - Localização do ponto de colheita AL9 - 1ª Campanha



Figura 6.12 - Localização do ponto de colheita AL10 - 1ª Campanha



Figura 6.13 - Localização do ponto de colheita AL11 - 1ª Campanha



Figura 6.14 - Localização do ponto de colheita AL12 - 1ª Campanha



Figura 6.15 - Localização do ponto de colheita AL13 - 1ª Campanha



Figura 6.16 - Localização do ponto de colheita AL14 - 1ª Campanha



Figura 6.17 - Localização do ponto de colheita AL15 - 1ª Campanha



Figura 6.18 - Localização do ponto de colheita AL16 - 1ª Campanha



Figura 6.19 - Localização do ponto de colheita AL17 - 1ª Campanha



Figura 6.20 - Localização do ponto de colheita AL18 - 1ª Campanha

Em sequência apresenta-se nas tabelas 6.1 e 6.2, o resumo da informação relativa aos pontos de água colhidos nas três campanhas de amostragem realizadas.

Tabela 6.1 - Localização e coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de água

Local	Ponto de Recolha	Linha de água	Latitude	Longitude
Alcains - zona de lazer de Alcains	AL1	Líria	39° 54.816'N	7° 28.073'O
Estação elevatória de Alcains	AL2	Líria	39° 54.828'N	7° 28.046'O
Caixa de visita do colector residual	AL3	Líria	39° 54.843'N	7° 28.087'O
Alcains - zona de lazer de Alcains	AL4	Líria	39° 54.692'N	7° 28.199'O
Quinta do Cabeço do Carvão	AL5	Líria	39° 54.046'N	7° 28.439'O
Montante - Etar Alcains	AL6	Líria	39° 53.777'N	7° 28.525'O
Caixa - Etar Alcains	AL7	Líria	39° 53.758'N	7° 28.518'O
Jusante - Etar Alcains	AL8	Líria	39° 53.751'N	7° 28.576'O
Alvarinhos (Santa Apolónia)	AL9	Líria	39° 52.570'N	7° 29.285'O
Ponte na EN18 ao km 100+800	AL10	Líria	39° 51.998'N	7° 29.611'O
Parque de Campismo de C. Branco	AL11	Líria	39° 51.560'N	7° 29.776'O
Ponte na EN112 ao km 92+400	AL12	Líria	39° 50.973'N	7° 30.618'O
Ponte na EN112 ao km 92+400	AL13	Líria	39° 50.964'N	7° 30.654'O
Quinta da Líria	AL14	Líria	39° 50.943'N	7° 31.379'O
Cabeço da Barreira	AL15	Líria	39° 50.380'N	7° 32.381'O
Cabeço da Barreira	AL16	Ribeiro da Seta	39° 50.329'N	7° 32.482'O
Barroca do Formigo	AL17	Líria	39° 50.390'N	7° 33.147'O
Ponte na EN 233 ao km 16+400	AL18	Líria	39° 50.160'N	7° 33.938'O

Tabela 6.2 - Hora das colheitas de amostragem de água

Ponto de Recolha	1ª Campanha 15-01-2010	2ª Campanha 09-04-2010	3ª Campanha 04-06-2010
AL1	09:51:03	15:36:55	17:10:24
AL2	10:05:49	15:49:20	n.d
AL3	10:16:03	16:02:22	n.d
AL4	11:13:22	n.d	n.d
AL5	11:32:16	16:33:30	16:30:55
AL6	11:51:35	16:49:54	16:19:43
AL7	12:01:59	17:00:04	n.d
AL8	12:09:13	17:09:26	n.d
AL9	12:23:53	17:21:04	15:50:23
AL10	12:33:47	17:31:33	15:37:26
AL11	12:49:44	17:41:11	15:26:26
AL12	13:22:04	17:59:42	n.d
AL13	13:29:13	18:04:54	n.d
AL14	14:57:07	18:21:07	14:51:17
AL15	15:51:25	18:54:16	14:22:34
AL16	16:13:35	19:03:08	14:29:25
AL17	16:53:19	19:32:56	13:55:36
AL18	17:11:42	19:45:22	13:44:46

6.3.2 Métodos de Análise das Amostras

Nos métodos de análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos procedeu-se à determinação “*in situ*” dos parâmetros mais sensíveis à variação das condições atmosféricas, utilizando uma sonda portátil, modelo HI 9828 da HANNA INSTRUMENTS, e os restantes foram determinados no laboratório LRTM.

No local de colheita das amostras foram medidos os parâmetros:

- Temperatura (T, °C);
- Potencial Hidrogeniónico (pH, escala de Sorënsen);
- Oxigénio Dissolvido (OD, mg/L);
- Condutividade Eléctrica (C, $\mu\text{S}/\text{cm}$);
- Sólidos Totais Dissolvidos (SDT, ppm);
- Potencial de Oxidação-Redução (ORP, mV).

No laboratório foram analisados os seguintes parâmetros:

- Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅, mg/L O₂), determinada através do método manométrico;
- Carência Química de Oxigénio (CQO, mg/L O₂), determinada através do método da volumetria de precipitação;
- Sólidos Suspensos Totais (SST, mg/L), determinado através do método normativo SMEWW;

- Azoto Total (N_{total} , mg/L N), determinado através de cálculo;
- Fósforo Total (P_{total} , mg/L P) determinado através do método de espectrometria de absorção molecular;
- Coliformes Fecais (CF, UFC/100 mL) determinado através do método PAB11.

Os parâmetros CQO, ORP, STD e N-total não foram utilizados nesta fase do trabalho, uma vez que seria necessário programar o QUAL2Kw para esse efeito. Será um desejável desenvolvimento futuro do trabalho agora em análise

6.3.3 Resultados dos Parâmetros Analisados

Apresenta-se de seguida os resultados obtidos por simulação para os diferentes parâmetros em análise. Os valores estão agrupados por campanhas e em função da sua utilização de entrada no programa QUAL2Kw (Tabelas 6.3, 6.4 e 6.5).

Tabela 6.3 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Janeiro de 2010, utilizados no QUAL2Kw

Ponto de Recolha	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos (mg/L)	CBO5 (mg/L O2)	Fósforo total (mg/L P)	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm)
Al1	7,54	6,53	5	4	2	150	9,03	123
Al2	11,3	6,66	10	4	2	2000	8,56	405
Al3	11,42	6,51	8	7	2	380	8,69	1080
Al4	8,71	7,29	11	4	2	280	9,73	214
Al5	7,67	8,16	3	4	2	110	9,82	133
Al6	8,23	8,94	4	4	2	260	8,97	148
Al7	10,99	9,29	24	30	2	202	8,81	333
Al8	8,31	7,68	5	5	2	2400	10,36	157
Al9	7,86	9,2	4	4	2	300	10,57	120
Al10	7,83	9,29	5	4	2	130	11,04	115
Al11	7,87	8,89	4	4	2	190	11,3	96
Al12	8,04	9,16	5	4	2	160	16,47	101
Al13	8,8	9,04	5	4	2	80	10,25	159
Al14	9,22	8,92	5	4	2	420	9,55	143
Al15	9,31	8,11	5	6	2	90	10,46	144
Al16	10,36	9,42	10	4	2	120	10,59	225
Al17	9,22	7,74	6	4	2	110	10,76	148
Al18	9,2	8,83	5	4	2	60	10,75	147

Tabela 6.4 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Abril de 2010, utilizados no QUAL2Kw

Ponto de Recolha	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos (mg/L)	CBO5 (mg/L O2)	Fósforo total (mg/L P)	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm)
Al1	19,1	8,81	3	6	0,02	8700	11,21	180
Al2	16,61	7,65	59	140	0,03	460000	3,76	441
Al3	15,88	7,63	200	750	0,09	110000	4,62	1932
Al4	nd	nd	200	700	0,08	400000	nd	nd
Al5	23	8,08	4	6	0,01	20	9,65	191
Al6	22,38	7,5	3	5	0,01	160	8,9	174
Al7	15,53	7,91	3	10	0,01	170000	4,46	455
Al8	19,65	7,78	5	8	0,01	500000	6,06	320
Al9	18,29	7,21	2	6	0,01	4000	7,73	223
Al10	16,66	7,58	2	12	0,01	6900	9,28	208
Al11	16,08	7,41	2	14	0,01	160	9,44	160
Al12	16,54	7,62	2	11	0,01	5900	7,84	153
Al13	15,78	7,65	6	10	0,01	1200	5,54	309
Al14	15,54	7,58	4	12	0,01	1006	5,24	283
Al15	16,76	7,92	3	11	0,02	11000	6,28	247
Al16	19,93	8,83	31	23	0,02	1700	8,6	710
Al17	17,35	7,85	4	6	0,01	550	7,84	287
Al18	17,57	7,87	3	13	0,01	390	8,25	308

Tabela 6.5 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Junho de 2010, utilizados no QUAL2Kw

Ponto de Recolha	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos (mg/L)	CBO5 (mg/L O2)	Fósforo total (mg/L P)	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm)
Al1	29,69	8,57	4	4	2	21	12,26	403
Al2	27.2*	nd	87	140	5	320000	nd	nd
Al3	26.8*	nd	99	210	8	41000	nd	nd
Al4	26.6*	nd	290	300	10	23000	nd	nd
Al5	30,2	7,95	15	12	2	82	4,2	518
Al6	26,7	7,61	3	7	2	120	4,95	269
Al7	22,7	7,8	15	6	2	410	4,5	605
Al8	25,8	nd	1500	130	9	18000	nd	nd
Al9	25,9	7,94	5	17	2	160	5,51	549
Al10	23,31	7,94	3	7	2	86	5,37	415
Al11	22,9	7,55	2	4	2	60	4,48	345
Al12	22.8*	nd	1	5	2	180	nd	nd
Al13	22,5	7,8	8	20	2	25000	7	710
Al14	21,9	7,94	6	7	2	3600	1,34	549
Al15	23,91	7,98	4	85	5	21000	4,48	596
Al16	26,9	8,25	9	9	2	1600	8,33	972
Al17	22,91	7,66	9	9	2	2800	5,25	599
Al18	25,53	7,62	9	9	2	1600	7	584

nd - não determinado, pois a água encontrava-se bastante turva

Nas tabelas 6.6, 6.7 e 6.8 são apresentados os valores obtidos para os parâmetros determinados nas análises efetuadas nas várias amostras de água recolhidas, mas que não foram utilizados, nesta fase, no programa QUAL2Kw (Tabelas 6.3, 6.4 e 6.5).

Tabela 6.6 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Janeiro de 2010, não utilizados no QUAL2Kw

Ponto de Recolha	CQO (mg/L O2)	AZOTO TOTAL (mg/L N)	ORP	Solidos Totais Dissolvidos (ppm)
Al1	9	5	199,7	61
Al2	9	9	233,2	202
Al3	26	29	113,6	540
Al4	9	7	134,5	107
Al5	9	5	58,1	67
Al6	9	5	32,2	74
Al7	112	13	7,2	166
Al8	16	5	37,3	78
Al9	9	5	17,9	60
Al10	12	5	12,9	57
Al11	12	5	22,6	48
Al12	12	5	5,8	50
Al13	12	5	-1,4	80
Al14	12	5	-44	71
Al15	14	5	-5	72
Al16	9	5	-41,9	113
Al17	9	5	20,8	74
Al18	9	5	-31,9	73

Tabela 6.7 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Abril de 2010, não utilizados no QUAL2Kw

Ponto de Recolha	CQO (mg/L O2)	AZOTO TOTAL (mg/L N)	ORP	Solidos Totais Dissolvidos (ppm)
Al1	36	11	65,7	90
Al2	360	18	-55,6	220
Al3	1560	79	-64	966
Al4	1520	67	nd	nd
Al5	22	10	8,8	95
Al6	20	7	24,2	87
Al7	38	11	-12,8	227
Al8	31	11	-16	160
Al9	24	13	37,7	111
Al10	40	14	31,6	104
Al11	48	7	33,1	80
Al12	39	14	28,2	76
Al13	36	14	-55	154
Al14	43	11	-30,5	141
Al15	43	16	2,6	123
Al16	84	17	-26,6	355
Al17	23	16	-8,2	143
Al18	46	18	-6,8	154

Tabela 6.8 - Parâmetros determinados nos pontos de água recolhidos em Junho de 2010, não utilizados no QUAL2Kw

Ponto de Recolha	CQO (mg/L O ₂)	AZOTO TOTAL (mg/L N)	ORP	Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)
Al1	13	5	-39,4	201
Al2	285	28	nd	nd
Al3	420	53	nd	nd
Al4	600	67	nd	nd
Al5	40	5	-28,8	259
Al6	23	5	-26,7	135
Al7	20	5	nd	nd
Al8	265	28	nd	nd
Al9	57	5	-31,3	274
Al10	23	5	-36,6	208
Al11	13	5	-16	173
Al12	17	5	nd	nd
Al13	60	5	nd	nd
Al14	23	5	-79,9	275
Al15	19	22	-30,2	298
Al16	33	5	-41	486
Al17	33	5	-31	299
Al18	33	5	-11,3	292

nd - não determinado, pois a água encontrava-se bastante turva

6.3.4 Qualidade da água no curso da Ribeira da Lória

Conforme referido anteriormente, o presente trabalho pretende, com base nos resultados obtidos nas análises realizadas na diversas amostras de água colhidas, caracterizar e avaliar o impacte das descargas da ETAR de Alcains e de Castelo Branco na qualidade da água da ribeira da Lória. Para tal foram selecionados dois critérios de avaliação, o primeiro refere-se aos valores paramétricos definidos no Anexo XXI do Decreto-Lei n.º 236/98 (Diário da República, 1998) (Tabelas 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12), que define os objetivos ambientais de qualidade mínima para as águas superficiais, e o segundo fundamenta-se na grelha paramétrica para usos múltiplos definida pelo INAG (INAG; 1998) (Tabelas 6.13, 6.14, 6.15 e 6.16).

Os resultados das análises referentes aos pontos situados na estação elevatória de Alcains (AL2), na caixa de visita do coletor de águas residuais de Alcains (AL3) e na caixa da ETAR de Alcains (AL7) não foram classificados segundo os critérios selecionados, pois estas águas não se enquadram no âmbito destes métodos de classificação.

Tabela 6.9 - Anexo XXI do Decreto-Lei n.º 236/98 (Diário da República, 1998)

ANEXO XXI

Objectivos ambientais de qualidade mínima para as águas superficiais

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMA
pH	Escala de Sorensen	5,0-9,0
Temperatura	°C	30
Variacão da temperatura	°C	3
Oxigénio dissolvido	% de saturação	50
CBO ₅	O ₂ mg/l	5
Azoto amoniacal	N mg/l	1
Fósforo total	P mg/l	1
Cloretos	Cl mg/l	250
Sulfatos	SO ₄ mg/l	250
Clorofenóis	µg/l, por composto	100
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/l	100
Substâncias tensoactivas aniónicas	mg/l	0,5
Pesticidas:		
Total	µg/l	2,5
Por substância individualizada	µg/l	0,5
Bifenilopoliclorados (PCB)	µg/l	20
Azoto Kjeldhal	N mg/l	2
Cianetos totais	CN mg/l	0,05
Arsénio total	As mg/l	0,1
Cádmio total	Cd mg/l	0,01
Chumbo total	Pb mg/l	0,05
Crómio total	Cr mg/l	0,05
Cobre total	Cu mg/l	0,1
Mercurio total	Hg mg/l	0,001
Níquel total	Ni mg/l	0,05
Zinco total	Zn mg/l	0,5

Dos parâmetros medidos, nas três campanhas realizadas no curso da ribeira da Liria, apenas alguns constam da lista de valores paramétricos definidos no anexo XXI do Decreto-Lei n.º 236/98 (Diário da República, 1998). Para os que constam da lista, procedeu-se à verificação do cumprimento dos Valores Máximos Admissíveis (VMA) estabelecidos no referido anexo. De seguida, apresentam-se as Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 relativas às três campanhas de amostragem de água realizadas e sua comparação com os valores paramétricos (VMA); em que se adoptou a cor verde para registar os valores dos parâmetros que cumprem os respectivos VMA e a cor vermelha para os que não cumprem.

Tabela 6.10 - Avaliação da qualidade da água na 1ª campanha (Janeiro 2010)

Ponto de Recolha	Local	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	CBO5 (mg/L O2)	Fósforo total (mg/L P)
Al1	Alcains - zona de lazer de Alcains	7,54	6,53	4	2
Al4	Alcains - zona de lazer de Alcains	8,71	7,29	4	2
Al5	Quinta do Cabeço do Carvão	7,67	8,16	4	2
Al6	Montante - Etar Alcains	8,23	8,94	4	2
Descarga da ETAR de Alcains					
Al8	Jusante - Etar Alcains	8,31	7,68	5	2
Al9	Alvarinhos (Santa Apolónia)	7,86	9,2	4	2
Al10	Ponte na EN18 ao km 100+800	7,83	9,29	4	2
Al11	Parque de Campismo de C. Branco	7,87	8,89	4	2
Al12	Ponte na EN112 ao km 92+400	8,04	9,16	4	2
Descarga da ETAR Norte de Castelo Branco					
Al13	Ponte na EN112 ao km 92+400	8,8	9,04	4	2
Al14	Quinta da Liria	9,22	8,92	4	2
Al15	Cabeço da Barreira	9,31	8,11	6	2
Al16	Cabeço da Barreira (ribeira da Seta)	10,36	9,42	4	2
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco					
Al17	Barroca do Formigo	9,22	7,74	4	2
Al18	Ponte na EN 233 ao km 16+400	9,2	8,83	4	2

Tendo em conta os valores dos parâmetros obtidos e sua comparação com os objetivos ambientais de qualidade mínima para as águas superficiais, constata-se que na primeira campanha (Janeiro de 2010), o parâmetro do pH ultrapassa o VMA em cinco pontos de recolha (AL9, AL10, AL12, L13 e AL16; Tabela 6.10), enquanto que o Fósforo total não cumpre em nenhum ponto de recolha (Tabela 6.10). Pontualmente, um dos pontos de água regista valores superiores ao VMA para o parâmetro CBO₅ (AL15; Tabela 6.10).

Tabela 6.11 - Avaliação da qualidade da água na 2ª campanha (Abril 2010)

Ponto de Recolha	Local	Temperatura	pH	CBO5	Fósforo total
		(°C)	(Escala Sorensen)	(mg/L O2)	(mg/L P)
AL1	Alcains - zona de lazer de Alcains	19,1	8,81	6	0,02
AL4	Alcains - zona de lazer de Alcains	nd	nd	700	0,08
AL5	Quinta do Cabeço do Carvão	23	8,08	6	0,01
AL6	Montante - Etar Alcains	22,38	7,5	5	0,01
Descarga da ETAR de Alcains					
AL8	Jusante - Etar Alcains	19,65	7,78	8	0,01
AL9	Alvarinhos (Santa Apolónia)	18,29	7,21	6	0,01
AL10	Ponte na EN18 ao km 100+800	16,66	7,58	12	0,01
AL11	Parque de Campismo de C. Branco	16,08	7,41	14	0,01
AL12	Ponte na EN112 ao km 92+400	16,54	7,62	11	0,01
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco					
AL13	Ponte na EN112 ao km 92+400	15,78	7,65	10	0,01
AL14	Quinta da Líria	15,54	7,58	12	0,01
AL15	Cabeço da Barreira	16,76	7,92	11	0,02
AL16	Cabeço da Barreira (ribeira da Seta)	19,93	8,83	23	0,02
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco					
AL17	Barroca do Formigo	17,35	7,85	6	0,01
AL18	Ponte na EN 233 ao km 16+400	17,57	7,87	13	0,01

Na segunda campanha de amostragem (Abril de 2010), a maioria dos pontos de água apresentam valores de CBO₅ superiores ao VMA, excetuando a amostra localizada a montante da ETAR de Alcains (AL6; Tabela 6.11).

Tabela 6.12 - Avaliação da qualidade da água na 3ª campanha (Junho 2010)

Ponto de Recolha	Local	Temperatura	pH	CBO ₅	Fósforo total
		(°C)	(Escala Sorensen)	(mg/L O ₂)	(mg/L P)
Al1	Alcains - zona de lazer de Alcains	29,69	8,57	4	2
Al4	Alcains - zona de lazer de Alcains	26,6	nd	300	10
Al5	Quinta do Cabeço do Carvão	30,2	7,95	12	2
Al6	Montante - Etar Alcains	26,7	7,61	7	2
Descarga da ETAR de Alcains					
Al8	Jusante - Etar Alcains	25,8	nd	130	9
Al9	Alvarinhos (Santa Apolónia)	25,9	7,94	17	2
Al10	Ponte na EN18 ao km 100+800	23,31	7,94	7	2
Al11	Parque de Campismo de C. Branco	22,9	7,55	4	2
Al12	Ponte na EN112 ao km 92+400	22,8	nd	5	2
Descarga da ETAR Norte de Castelo Branco					
Al13	Ponte na EN112 ao km 92+400	22,5	7,8	20	2
Al14	Quinta da Líria	21,9	7,94	7	2
Al15	Cabeço da Barreira	23,91	7,98	85	5
Al16	Cabeço da Barreira (ribeira da Seta)	26,9	8,25	9	2
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco					
Al17	Barroca do Formigo	22,91	7,66	9	2
Al18	Ponte na EN 233 ao km 16+400	25,53	7,62	9	2

Na terceira campanha de amostragem (Junho de 2010), o Fósforo total não cumpre o VMA em nenhum ponto água e o CBO₅ apenas cumpre o VMA em três pontos de água (AL1, AL11 e AL12; Tabela 6.12). Destaca-se, ainda, o facto de se ter registado um valor de temperatura acima do VMA (AL5; Tabela 6.12).

Deste modo, e com base neste critério, pode considerar-se que as descargas das ETAR de Alcains e de Castelo Branco, assim como dos efluentes industriais, provocam um impacte significativo na qualidade da água da ribeira da Líria (Tabela 6.12).

Nas tabelas 6.13, 6.14 e 6.15, apresenta-se a classificação dos parâmetros obtidos nos pontos de águas recolhidos e sua comparação com o critério de avaliação para usos múltiplos da água, definida pelo INAG. As cores registadas nas tabelas foram atribuídas de acordo com a definição de cores apresentada nas tabelas anteriores e que representam o nível de poluição em função do valor do parâmetro analisado.

Tabela 6.13 - Grelha paramétrica para usos múltiplos definida pelo INAG (1998)

Tabela de Classificação por Parâmetro

PARÂMETRO	CLASSE	A	B	C	D	E
		(sem poluição)	(fracamente poluído)	(poluído)	(muito poluído)	(extremamente poluído)
pH		6.5 - 8.5*	-	6.0 - 9.0	5.5 - 9.5	-
Temperatura (°C)		<=20	21 - 25	26 - 28	29 - 30	>30
Condutividade (µS/cm, 20°C)		<=750	751 - 1 000	1 001 - 1 500	1 501 - 3 000	>3 000
SST (mg/l)		<=25.0	25.1 - 30.0	30.1 - 40.0	40.1 - 80.0	>80.0
Sat OD (%)		>=90	89 - 70	69 - 50	49 - 30	<30
CBO ₅ (mg O ₂ /l)		<=3.0	3.1 - 5.0	5.1 - 8.0	8.1 - 20.0	>20.0
CQO (mg O ₂ /l)		<=10.0	10.1 - 20.0	20.1 - 40.0	40.1 - 80.0	>80.0
Oxidabilidade (mg O ₂ /l)		<=3.0	3.1 - 5.0	5.1 - 10.0	10.1 - 25.0	>25.0
Azoto Amoniacal (mg NH ₄ /l)		<=0.10	0.11 - 1.00	1.10 - 2.00	2.01 - 5.00	>5.00
Nitratos (mg NO ₃ /l)		<=5.0	5.0 - 25.0	25.1 - 50.0	50.1 - 80.0	>80.0
Fosfatos (mg P ₂ O ₅ /l)		<0.54	-	<0.94	>0.94	-
Coliformes Totais (/100 ml)		<=50	51 - 5 000	5 001 - 50 000	>50 000	-
Coliformes Fecais (/100 ml)		<=20	21 - 2 000	2 001 - 20 000	>20 000	-
Estreptococos Fecais (/100 ml)		<=20	21 - 2 000	2 001 - 20 000	>20 000	-
Ferro (mg/l)		<=0.50	0.51 - 1.00	1.10 - 1.50	1.50 - 2.00	>2.00
Manganês (mg/l)		<=0.10	0.11 - 0.25	0.26 - 0.50	0.51 - 1.00	>1.00
Zinco (mg/l)		<=0.30	0.31 - 1.00	1.10 - 5.00	-	>5.00
Cobre (mg/l)		<=0.020	0.021 - 0.05	0.051 - 1.00	-	>1.00
Crómio (mg/l)		<=0.05	-	-	-	>0.05
Selénio (mg/l)		<=0.01	-	-	-	>0.01
Cádmio (mg/l)		<=0.0010	-	0.0011 - 0.0050	-	>0.0050
Chumbo (mg/l)		<=0.050	-	0.051 - 0.100	-	>0.100
Merúrio (mg/l)		<=0.00050	-	0.00051 - 0.001	-	>0.001
Arsénio (mg/l)		<=0.010	0.011 - 0.050	-	0.051 - 0.100	>0.100
Cianetos (mg/l)		<=0.010	-	0.011 - 0.050	-	>0.050
Fenóis (mg/l)		<=0.0010	0.0011 - 0.0050	0.0051 - 0.010	0.011 - 0.100	>0.100
Agentes Tensioactivos (Las-mg/l)		<=0.2	-	0.21 - 0.50	-	>0.50

* O pH, sendo um parâmetro muito dependente de características geomorfológicas, pode apresentar valores fora deste intervalo, sem contudo significar alterações de qualidade devidas à poluição

Tabela 6.14 - Avaliação da qualidade da água na 1ª campanha (Janeiro de 2010)

Ponto de Recolha	Local	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos (mg/L)	CQO (mg/L O ₂)	CBO ₅ (mg/L O ₂)	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	Condutividade (µS/cm)
Al1	Alcains - zona de lazer de Alcains	7,54	6,53	5	9	4	150	123
Al4	Alcains - zona de lazer de Alcains	8,71	7,29	11	9	4	280	214
Al5	Quinta do Cabeço do Carvão	7,67	8,16	3	9	4	110	133
Al6	Montante - Etar Alcains	8,23	8,94	4	9	4	260	148
Descarga da ETAR de Alcains								
Al8	Jusante - Etar Alcains	8,31	7,68	5	16	5	2400	157
Al9	Alvarinhos (Santa Apolónia)	7,86	9,2	4	9	4	300	120
Al10	Ponte na EN18 ao km 100+800	7,83	9,29	5	12	4	130	115
Al11	Parque de Campismo de C. Branco	7,87	8,89	4	12	4	190	96
Al12	Ponte na EN112 ao km 92+400	8,04	9,16	5	12	4	160	101
Descarga da ETAR Norte de Castelo Branco								
Al13	Ponte na EN112 ao km 92+400	8,8	9,04	5	12	4	80	159
Al14	Quinta da Liria	9,22	8,92	5	12	4	420	143
Al15	Cabeço da Barreira	9,31	8,11	5	14	6	90	144
Al16	Cabeço da Barreira (ribeira da Seta)	10,36	9,42	10	9	4	120	225
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco								
Al17	Barroca do Formigo	9,22	7,74	6	9	4	110	148
Al18	Ponte na EN 233 ao km 16+400	9,2	8,83	5	9	4	60	147

Pela observação da classificação obtida para os valores dos parâmetros da água, segundo o critério de avaliação da qualidade da água para usos múltiplos definida pelo INAG, verifica-se que a campanha de Janeiro é a que apresenta melhor classificação para todos os parâmetros à exceção dos valores de pH, que regista valores de classificação como poluída a muito poluída (Tabela 6.14). Pontualmente, os valores de CBO₅ e de coliformes fecais obtidos revelam que a

água está poluída (Tabela 6.14). A maioria das amostras de água registam valores de CQO, CBO₅ e coliformes fecais que lhe conferem uma classificação de fracamente poluídas (Tabelas 6.13 e 6.14).

Tabela 6.15 - Avaliação da qualidade da água na 2ª campanha (Abril 2010)

Ponto de Recolha	Local	Temperatura (° C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos (mg/L)	CQO (mg/L O ₂)	CBO ₅ (mg/L O ₂)	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	Condutividade (µS/cm)
Al1	Alcains - zona de lazer de Alcains	19,1	8,81	3	36	6	8700	180
Al4	Alcains - zona de lazer de Alcains	nd	nd	200	1520	700	400000	nd
Al5	Quinta do Cabeço do Carvão	23	8,08	4	22	6	20	191
Al6	Montante - Etar Alcains	22,38	7,5	3	20	5	160	174
Descarga da ETAR de Alcains								
Al8	Jusante - Etar Alcains	19,65	7,78	5	31	8	500000	320
Al9	Alvarinhos (Santa Apolónia)	18,29	7,21	2	24	6	4000	223
Al10	Ponte na EN18 ao km 100+800	16,66	7,58	2	40	12	6900	208
Al11	Parque de Campismo de C. Branco	16,08	7,41	2	48	14	160	160
Al12	Ponte na EN112 ao km 92+400	16,54	7,62	2	39	11	5900	153
Descarga da ETAR Norte de Castelo Branco								
Al13	Ponte na EN112 ao km 92+400	15,78	7,65	6	36	10	1200	309
Al14	Quinta da Liria	15,54	7,58	4	43	12	1006	283
Al15	Cabeço da Barreira	16,76	7,92	3	43	11	11000	247
Al16	Cabeço da Barreira (ribeira da Seta)	19,93	8,83	31	84	23	1700	710
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco								
Al17	Barroca do Formigo	17,35	7,85	4	23	6	550	287
Al18	Ponte na EN 233 ao km 16+400	17,57	7,87	3	46	13	390	308

Na segunda e terceira campanhas de amostragem, com base neste critério surgem valores de parâmetros com classificação de extremamente poluído e muito poluído, dos quais se destacam o CBO₅, CQO e os coliformes fecais (Tabelas 6.13, 6.15 e 6.16). Nenhum dos parâmetros analisados nas diversas amostras de água apresenta uma classificação sem poluição associada, em pelo menos um ponto de amostragem (Tabelas 6.13, 6.14 e 6.15).

Tabela 6.16 - Avaliação da qualidade da água na 3ª campanha (Junho 2010)

Ponto de Recolha	Local	Temperatura (°C)	pH (Escala Sorensen)	Sólidos suspensos (mg/L)	CQO (mg/L O2)	CB05 (mg/L O2)	Coliformes fecais 44°C (UFC/100mL)	Condutividade (µS/cm)
Al1	Alcains - zona de lazer de Alcains	29,69	8,57	4	13	4	21	403
Al4	Alcains - zona de lazer de Alcains	26,6	nd	290	600	300	23000	nd
Al5	Quinta do Cabeço do Carvão	30,2	7,95	15	40	12	82	518
Al6	Montante - Etar Alcains	26,7	7,61	3	23	7	120	269
Descarga da ETAR de Alcains								
Al8	Jusante - Etar Alcains	25,8	nd	1500	265	130	18000	nd
Al9	Alvarinhos (Santa Apolónia)	25,9	7,94	5	57	17	160	549
Al10	Ponte na EN18 ao km 100+800	23,31	7,94	3	23	7	86	415
Al11	Parque de Campismo de C. Branco	22,9	7,55	2	13	4	60	345
Al12	Ponte na EN112 ao km 92+400	22,8	nd	1	17	5	180	nd
Descarga da ETAR Norte de Castelo Branco								
Al13	Ponte na EN112 ao km 92+400	22,5	7,8	8	60	20	25000	710
Al14	Quinta da Líria	21,9	7,94	6	23	7	3600	549
Al15	Cabeço da Barreira	23,91	7,98	4	19	85	21000	596
Al16	Cabeço da Barreira (ribeira da Seta)	26,9	8,25	9	33	9	1600	972
Descarga da ETAR Sul de Castelo Branco								
Al17	Barroca do Formigo	22,91	7,66	9	33	9	2800	599
Al18	Ponte na EN 233 ao km 16+400	25,53	7,62	9	33	9	1600	584

Assim sendo, também com apoio neste critério, se observa que as descargas das ETAR de Alcains e de Castelo Branco, assim como dos efluentes industriais, provocam impactes muito significativos na qualidade da água da ribeira da Líria (Tabelas 6.14, 6.15 e 6.16).

Constata-se que os impactes na qualidade da água são menos significativos na campanha de Janeiro, época em que a ribeira possui um maior caudal, e mais expressivos nas campanhas de Abril e Junho correspondentes a períodos em que a ribeira apresenta menor caudal.

No que se refere à contribuição das três ETAR que fazem as descargas diretamente ou indiretamente para a ribeira da Líria verifica-se que a ETAR Sul de Castelo Branco é a que menor impacto provoca na qualidade da água, provavelmente devido ao facto da descarga ser realizada para a ribeira da Seta, realizando assim um processo de autodepuração durante o seu percurso até à confluência com a ribeira da Líria. Constata-se ainda que é muito semelhante o impacte na qualidade da água na ribeira da Líria provocado pelas descargas das ETAR de Alcains e Norte de Castelo Branco.

6.3.5 Caudais

Conforme referido anteriormente, não foi possível determinar o caudal das linhas de água no momento da recolha de amostras através da utilização de um caudalímetro. Deste modo, foi necessário proceder ao cálculo dos caudais, para a modelação das simulações, com base na precipitação registada nos meses em que se realizaram as campanhas de recolhas.

Contudo, o caudal da descarga da ETAR de Alcains foi disponibilizado pelas Águas do Centro.

Entre várias fórmulas disponíveis para o cálculo dos caudais de sub-bacias optou-se pela fórmula de Giandotti (Giandotti, 1953), por ser considerada como a que melhor se aproxima dos valores reais de caudal.

Em primeiro lugar, determinaram-se os tempos de concentração das bacias pela seguinte expressão proposta por Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{A_{sb}} + 1,5L_{sb}}{0,80 \times \sqrt{H}}$$

Em que:

- t_c - tempo de concentração (h);
- A_{sb} - área da bacia (km²);
- L_{sb} - comprimento da linha de água principal da bacia (Km);
- H - altura média da bacia (m).

Para aplicação da fórmula de Giandotti, consideraram-se seis sub-bacias com as seguintes características gerais (Tabela 6.17):

Tabela 6.17 - Características gerais das sub-bacias

Sub-Bacias	Area (km2)	Comprimento da linha de água (km)	Diferença de Cota (m)
Q0	15,30	6	50
Q1	0,35	0,95	35
Q2	8,65	4,4	50
Q3	13,35	6	60
Q4	8,83	3,9	100
Q5	10,65	4,9	80

O cálculo dos caudais destas sub-bacias foi determinado tendo em conta as precipitações mensais correspondentes a cada mês de colheita realizado. Os dados das precipitações sucedidas durante estes meses foram obtidos na base de dados disponibilizados pelo SNIRH, relativa à estação udométrica do Ladoeiro (Tabela 6.18).

Tabela 6.18 - Precipitações mensais médias e diárias nos meses das campanhas de amostragem

	Janeiro	Abril	Junho
Precipitação Mensal (mm)	81,30	61	10,3
Precipitação Média Diária (mm)	2,62	2,03	0,34

A fórmula de Giandotti é definida do seguinte modo:

$$Q_p = \frac{\lambda \times A_{sb} \times h}{t_c}$$

Em que:

- Q_p - caudal de ponta de cheia (m^3/s);
- λ - parâmetro em função da área
- A_{sb} - área da sub-bacia (km^2);
- h - precipitação (mm);
- t_c - tempo de concentração (h).

Na Tabela 6.19 estão indicados os valores dos caudais obtidos para cada sub-bacia e respectiva campanha.

Tabela 6.19 - Valores dos caudais (m^3/s)

Sub-Bacias	Tempo de concentração (horas)	Precipitação (mm)	λ	Caudal (m^3/s)
Campanha de Janeiro				
Q0	5,79	2,62	0,346	2,40
Q1	0,93			0,34
Q2	3,78			2,08
Q3	4,81			2,52
Q4	2,64			3,03
Q5	3,47			2,79
Campanha de Abril				
Q0	5,79	2,03	0,346	1,86
Q1	0,93			0,26
Q2	3,78			1,61
Q3	4,81			1,95
Q4	2,64			2,35
Q5	3,47			2,16
Campanha de Junho				
Q0	5,79	0,34	0,346	0,31
Q1	0,93			0,04
Q2	3,78			0,27
Q3	4,81			0,33
Q4	2,64			0,40
Q5	3,47			0,36

Q1 - valor de caudal da descarga da ETAR de Alcains, disponibilizado pelas Águas do Centro

No presente trabalho, não foram consideradas contribuições difusas ao longo da área da bacia em estudo devido ao facto de não terem sido determinados os parâmetros da qualidade das águas associada a essas contribuições difusas.

7 MODELO MATEMÁTICO

Desde o aparecimento do primeiro modelo matemático para se determinar o impacto provocado por uma descarga pontual num curso de água desenvolvido por Streeter e Phelps (1925), que este tipo de modelação matemática de balanço de OD em função dos coeficientes de rearejamento, consumo de oxigénio e CBO tem vindo a ser aperfeiçoado.

Na atualidade existe um conjunto de modelos matemáticos integrados em programas de cálculo que permitem avaliar e simular os impactos de descargas poluentes na qualidade dos cursos de água.

Conforme referido no presente trabalho, o modelo matemático selecionado foi o QUAL2Kw (versão 5.1), desenvolvido por Pelletier et al. (2006), distribuído gratuitamente pela United States Environmental Protection Agency (EPA).

A metodologia adotada seguiu os passos definidos em trabalhos do mesmo âmbito realizados por diversos autores (Pelletier et al., 2006; Vieira, 2007; Oliveira, 2011; Almeida 2011), que consiste, numa primeira etapa, em discretizar o sistema hídrico em estudo, seguida da calibração dos dados de campo e, por último, a produção de simulações, através do modelo matemático do programa, para os vários parâmetros da qualidade da água introduzidos e calibrados. Estas simulações permitem validar o modelo e ao mesmo tempo prever cenários futuros de qualidade das águas.

No final, são analisadas as simulações e apresentam-se as conclusões sobre as condições de poluição do curso de água. A realização destes estudos permite por parte das entidades competentes, a adoção de medidas mais adequadas na gestão dos recursos hídricos, com o objetivo de atingir a melhoria contínua da qualidade da água.

7.1 Descrição do Modelo

O modelo matemático utilizado pelo QUAL2Kw incorpora equações diferenciais ordinárias e permite simular o comportamento de diversos parâmetros de qualidade da água, em função das cargas poluentes pontuais e difusas definidas como entradas no modelo.

O modelo inclui um algoritmo genético PIKAlA, que permite calibrar as taxas cinéticas dos parâmetros, ajustando os valores através da comparação entre os dados projectados e os observados. Baseia-se igualmente num sistema de modelação por Total Maximum Daily Load (TMDL's) (Pelletier, Chapra e Tao, 2006).

Pelletier e Chapra (2006) publicaram as bases teóricas e manual de funcionamento do modelo QUAL2Kw, no qual são abordados todos os parâmetros, balanços, características, coeficientes e equações do modelo. Para uma melhor percepção do presente trabalho, faz-se uma breve descrição do modelo utilizado.

7.2 Discretização da ribeira da Lória

Conforme referido anteriormente, para utilizar o software QUAL2Kw é necessário definir segmentos ou cursos ao longo da ribeira em estudo. Deste modo, a ribeira da Lória foi modelada conforme se apresenta na figura 7.1.

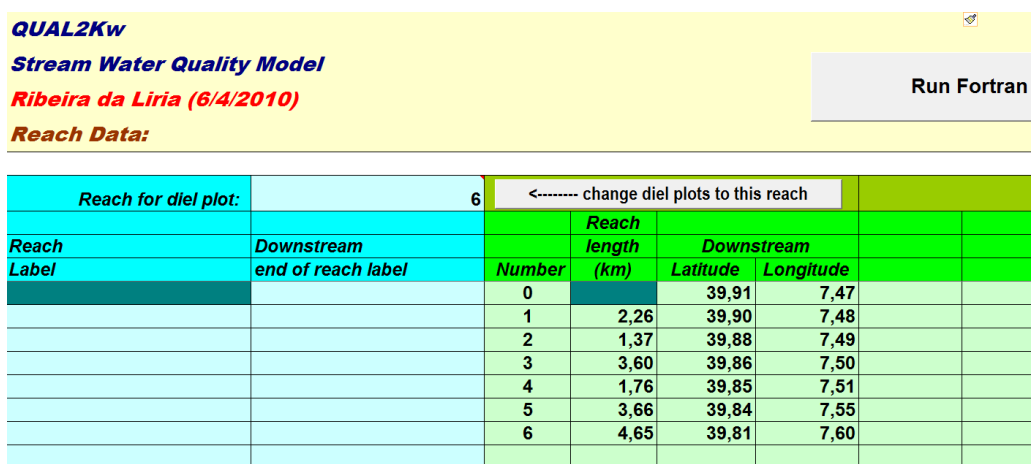


Figura 7.1 - Discretização do curso da ribeira da Lória (interface QUAL2Kw)

7.3 Largura e inclinação da ribeira da Lória

Com base nas medições realizadas nos locais, definiram-se as larguras da ribeira da Lória, que variam entre um mínimo de 3.5m e o valor máximo de 12 m.

As inclinações médias longitudinais, obtidas através da cartografia disponível, dos cursos definidos variam entre 0,2 % e 0,7%.

Por simplificação, e devido à inexistência de dados, consideram-se as margens da ribeira como vertical, ou seja, o modelo encarou as secções da ribeira como retangulares.

O coeficiente de Manning adotado foi 0,034, tendo sido estimado em função do definido na tabela 7.1 (Cortes, 2004).

Tabela 7.1 - Coeficiente de Valores do coeficiente de Manning (n) para várias configurações de canais e dos materiais dominantes (Cortes, 2004)

Tipo de canal e sua caracterização		Mínimo	Normal	Dominante
Escavado ou canalizado				
Em terra, linear e uniforme				
	Limpo, recente	0,016	0,018	0,020
	Cascalho, secção uniforme, limpo	0,022	0,025	0,030
	Com alguns macrofitos	0,022	0,027	0,033
Em terra, curvilíneo e de escoamento lento				
	Sem vegetação	0,023	0,025	0,030
	Macrófitas densas	0,030	0,035	0,040
	Fundo cascalho	0,030	0,040	0,050
Rios				
Rios de pequena dimensão				
	Perfil curvilíneo e limpo	0,033	0,040	0,045
	Escoamento lento, macrofitos	0,050	0,070	0,080
	Rios de montanha, sem vegetação, margens declivosas arborizadas:			
	a) Leito onde domina gravilha e cascalho	0,030	0,040	0,050
	b) Leito onde domina cascalho e blocos	0,040	0,050	0,070
Rios de planície				
	Gramíneas curtas	0,025	0,030	0,035
	Áreas cultivadas:			
	Sem culturas	0,020	0,030	0,040
	Culturas maduras	0,030	0,040	0,050
	Árvores:			
	Salgueiros densos	0,110	0,150	0,200
	Floresta densa com cheias até aos ramos	0,080	0,100	0,120
Rios Principais				
	Secção regular sem blocos ou arbustos	0,025	-	0,060
	Secção muito irregular	0,035	-	0,100

7.4 Opções de simulação

O programa QUAL2Kw obriga à escolha de certas opções para o cálculo das simulações, considerando as opções tomadas no presente trabalho, destaca-se a seleção do método de Euler para o processo de integração e do modelo da Bissecção para a modelação do pH. As opções tomadas foram idênticas para os três cenários, correspondentes às colheitas de amostragem, em simulação neste estudo (Figura 7.2).

QUAL2Kw (version 5.1)
Stream Water Quality Model
Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao
Department of Ecology and Tufts University

Run
Fortran

System ID:		
River name		Ribeira da Liria
Saved file name		Simulação Amostragem Janeiro
Directory where file saved		C:\ simulação
Month		1
Day		15
Year		2010
Local standard time zone		0
Daylight savings time		Yes
Simulation and output options:		
Calculation step		22,5 minutes
Number of days		2 days
Solution method (integration)		Euler
Solution method (pH)		Bisection
Simulate hyporheic exchange and pore water quality		No
Display dynamic diel output		Yes
State variables for simulation		All
Simulate sediment diagenesis		No
Simulate alkalinity change due to nutrient change		Yes
Program determined calc step		22,5 minutes
Time elapsed during last model run		1530,08 minutes
Time of sunrise		8:50 AM
Time of solar noon		1:39 PM
Time of sunset		6:29 PM
Photoperiod		9,67 hours

Figura 7.2 - Características gerais da modelação para a 1ª campanha (interface QUAL2Kw)

7.5 Calibração do Modelo

Os valores de calibração dos parâmetros cinéticos do QUAL2Kw foram obtidos no documento de referência da EPA (USEPA, 1985), correspondentes aos valores utilizados pelo criador do modelo (Pelletier et al., 2005) na modelação de rios.

Na figura Figura 7.3, apresentam-se os valores dos parâmetros utilizados na calibração do modelo de simulação para os três cenários em estudo.

xQUAL2Kw Stream Water Quality Model <i>Calibration of up to four surveys or branches</i> Water Column Rates						
				Run Fortran	Run Auto-cal	Fitness: 3,5763
Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
				Auto-cal	Min value	Max value
Stoichiometry:						
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	1,4372	m/d	v_s	Yes	0	2
Oxygen:						
Reaeration model	Owens-Gibbs			No		
Temp correction	1,024		θ_a			
Reaeration wind effect	None					
O2 for carbon oxidation	2,69	gO ₂ /gC	f_{oc}			
O2 for NH4 nitrification	4,57	gO ₂ /gN	f_{on}			
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential					
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0,60	L/mgO ₂	K_{sogf}	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model nitrification	Exponential					
Oxygen inhib parameter nitrification	0,60	L/mgO ₂	K_{sona}	No	0,60	0,60
Oxygen enhance model denitrification	Exponential					
Oxygen enhance parameter denitrification	0,60	L/mgO ₂	K_{soda}	No	0,60	0,60
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential					
Oxygen inhib parameter phyto resp	0,60	L/mgO ₂	K_{sop}	No	0,60	0,60
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential					
Oxygen enhance parameter bot alg resp	0,60	L/mgO ₂	K_{sob}	No	0,60	0,60
Slow CBOD:						
Hydrolysis rate	3,3285	/d	k_{hc}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		θ_{hc}	No	1	1,07
Oxidation rate	4,7075	/d	k_{dc1}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		θ_{dc1}	No	1	1,07
Fast CBOD:						
Oxidation rate	4,91005	/d	k_{dc}	Yes	0	5
Temp correction	1,047		θ_{dc}	No	1	1,07
Organic N:						
Hydrolysis	2,4232	/d	k_{hn}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		θ_{hn}	No	1	1,07
Settling velocity	0,40036	m/d	v_{sn}	Yes	0	2
Ammonium:						
Nitrification	6,7049	/d	k_{na}	Yes	0	10
Temp correction	1,07		θ_{na}	No	1	1,07
Nitrate:						
Denitrification	1,56536	/d	k_{dn}	Yes	0	2
Temp correction	1,07		θ_{dn}	No	1	1,07
Sed denitrification transfer coeff	0,4193	m/d	v_{di}	Yes	0	1
Temp correction	1,07		θ_{di}	No	1	1,07
Organic P:						
Hydrolysis	2,12655	/d	k_{hp}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		θ_{hp}	No	1	1,07
Settling velocity	1,05502	m/d	v_{sp}	Yes	0	2
Inorganic P:						
Settling velocity	1,16604	m/d	v_{ip}	Yes	0	2
Sed P oxygen attenuation half sat constant	1,8496	mgO ₂ /L	k_{spi}	Yes	0	2
Phytoplankton:						
Max Growth rate	2,5	/d	k_{gz}	No	1,5	3
Temp correction	1,07		θ_{gz}	No	1	1,07
Respiration rate	0,1	/d	k_{rz}	No	0	1
Temp correction	1,07		θ_{rz}	No	1	1,07
Death rate	0	/d	k_{dp}	No	0	1
Temp correction	1,07		θ_{dp}	No	1	1,07
Nitrogen half sat constant	15	ugN/L	k_{znp}	No	0	150
Phosphorus half sat constant	2	ugP/L	k_{zsp}	No	0	50
Inorganic carbon half sat constant	1,30E-05	moles/L	k_{zcp}	No	1,30E-06	1,30E-04
Phytoplankton use HCO ₃ - as substrate	Yes					
Light model	Half saturation					
Light constant	57,6	langleys/d	K_{Lp}	No	28,8	115,2
Ammonia preference	25	ugN/L	k_{hnp}	No	25	25
Settling velocity	0,15	m/d	v_s	No	0	5

Bottom Algae:						
Growth model	Zero-order					
Max Growth rate	66,974	gD/m ² /d or /d	C_{g3}	Yes	0	100
Temp correction	1,04		θ_{g3}	No	1	1,07
First-order model carrying capacity	200	gD/m ²	$a_{g,max}$	No	50	200
Basal respiration rate	0,29104	/d	k_{r13}	No	0	0,3
Photo-respiration rate parameter	0	unitless	k_{r23}	No	0	0,6
Temp correction	1,04		θ_{r3}	No	1	1,07
Excretion rate	0,34599	/d	k_{e3}	Yes	0	0,5
Temp correction	1,04		θ_{e3}	No	1	1,07
Death rate	0,252475	/d	k_{d3}	Yes	0	0,5
Temp correction	1,04		θ_{d3}	No	1	1,07
External nitrogen half sat constant	38,202	ugN/L	k_{sP3}	Yes	0	300
External phosphorus half sat constant	57,832	ugP/L	k_{sN3}	Yes	0	100
Inorganic carbon half sat constant	5,79E-05	moles/L	k_{sC3}	Yes	1,30E-06	1,30E-04
Bottom algae use HCO ₃ - as substrate	Yes					
Light model	Half saturation					
Light constant	19,13779	langleys/d	K_{L3}	Yes	1	100
Ammonia preference	62,21764	ugN/L	k_{NH3}	Yes	1	100
Subsistence quota for nitrogen	4,2366312	mgN/gD	q_{0N}	Yes	0,072	72
Subsistence quota for phosphorus	6,1203835	mgP/gD	q_{0P}	Yes	0,01	10
Maximum uptake rate for nitrogen	1047,5785	mgN/gD/d	ρ_{mN}	Yes	350	1500
Maximum uptake rate for phosphorus	64,9475	mgP/gD/d	ρ_{mP}	Yes	50	200
Internal nitrogen half sat ratio	4,3944255		$K_{sN,inter}$	Yes	1,05	5
Internal phosphorus half sat ratio	3,0762315		$K_{sP,inter}$	Yes	1,05	5
Nitrogen uptake water column fraction	1		$N_{Cp,water}$	No	0	1
Phosphorus uptake water column fraction	1		$P_{Cp,water}$	No	0	1
Detritus (POM):						
Dissolution rate	1,91365	/d	k_{d3}	Yes	0	5
Temp correction	1,07		θ_{d3}	No	1,07	1,07
Settling velocity	0,03685	m/d	v_{d3}	Yes	0	5
Pathogens:						
Decay rate	0,8	/d	k_{d3}	No	0,8	0,8
Temp correction	1,07		θ_{d3}	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	α_{path}	No	1	1
pH:						
Partial pressure of carbon dioxide	375	ppm	p_{CO2}			
Hyporheic metabolism						
Model for biofilm oxidation of fast CBOD	Zero-order		Level 1			
Max biofilm growth rate	5	gO ₂ /m ² /d or /d	"	No	0	20
Temp correction	1,047		"	No	1,047	1,047
Fast CBOD half-saturation	0,5	mgO ₂ /L	"	No	0	2
Oxygen inhib model	Exponential		"			
Oxygen inhib parameter	0,60	L/mgO 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
Generic constituent						
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					

Figura 7.3 - Parâmetros de calibração do modelo QUAL2Kw para a modelação da ribeira da Liria (interface QUAL2Kw)

Neste estudo optou-se pela utilização do processo de auto-calibração que o QUAL2Kw disponibiliza. Para a otimização do processo de calibração, o QUAL2Kw utiliza o algoritmo PIKAIA, que corresponde a um algoritmo genético como técnica de resolução de um problema de otimização (Pelletier et al., 2006). Os algoritmos genéticos são algoritmos evolutivos que usam técnicas inspiradas pela biologia evolutiva como hereditariedade, mutação e seleção natural.

O referido algoritmo genético - PIKAIA maximiza 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 de mínimos introduzidos pelo utilizador, de modo a otimizar 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.

Na interface do modelo, na folha “Rates”, é possível especificar os parâmetros que pretendemos auto-calibrar, definindo para isso os intervalos de máximo e mínimo (Figura 7.4).

Auto-calibration genetic algorithm control:		
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	pmutmx
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

Figura 7.4 - Coeficientes do PIKAIA na folha “RATES” do QUAL2Kw

Em que:

- seed* - qualquer valor inteiro que pode ser lançado como semente para a geração de números aleatórios;
- np* - número de simulações de uma população (valor por defeito é igual a 100);
- ngen* - número de gerações de evolução, em que este é o número de gerações onde cada solução para a calibração automática está a evoluir (valor por defeito é igual a 50);
- nd* - número de dígitos para codificar cada cromossoma (valor por defeito é igual a 5);
- icross* - modo de cruzamento (valor por defeito é igual a 3);
- pcross* - probabilidade de recombinação (deve ser menor ou igual a 1; valor por defeito é igual a 0,85);
- imut* - modo de mutação (valor por defeito é igual a 2);
- pmut* - probabilidade de mutação inicial (valor por defeito é igual a 0,005);
- pmutmn* - probabilidade de mutação mínima (deve ser maior ou igual a 0; valor por defeito é igual a 0,0005);
- pmutmx* - probabilidade de mutação máxima (deve ser menor ou igual a 1,0; valor por defeito é igual a 0,25);
- fdif* - varia de 0 a 1 (valor por defeito é igual a 1);

- irep* - plano de reprodução, onde 1 é a substituição total da geração, 2 a substituição aleatória constante e 3 a substituição constante que descarta as piores criações (valor por defeito é igual a 1);
- ielite* - aplicado somente a planos de reprodução. 1-ligado e 2-desligado (valor por defeito é igual a 1);
- irestart* - Reinício da evolução anterior, onde 0 são os valores aleatórios iniciais, 1 a utilização da última geração da simulação anterior para a população inicial (valor por defeito é igual a 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: $np \times (ngen+1)$.

Os valores atribuídos aos parâmetros introduzidos no modelo de modo a reproduzir os valores observados, correspondem aos valores medidos em seis dos dezoito pontos de recolhas de amostras, especificamente os pontos de água AL1, AL7, AL9, AL11, AL13 e AL 16 para as diferentes condições meteorológicas que caracterizaram cada uma das três campanhas de amostragem e respetivos caudais. Os parâmetros introduzidos no presente trabalho foram: Temperatura (°C); Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$); Sólidos Suspensos Totais (mg/L); Óxigénio Dissolvido (mg/L); CBO_{lenta} (mg O_2/L); $\text{CBO}_{rápida}$ (mg O_2/L); $\text{P}_{orgânico}$ ($\mu\text{g P/L}$); $\text{P}_{inorgânico}$ ($\mu\text{g P/L}$); Coliformes fecais (ufc/100ml) e pH (escala de Sorënsen).

O modelo simula a carência bioquímica de oxigénio (CBOC) considerando a reação lenta (CBOC_{lenta}) e a reacção rápida ($\text{CBOC}_{rápida}$). A CBOC_{lenta} aumenta devido à dissolução de detritos e diminui por via da hidrólise. A $\text{CBOC}_{rápida}$ aumenta por via da hidrólise da CBOC de reação lenta e diminui por via da oxidação e desnitrificação (Pelletier e Chapra, 2005).

Devido ao facto do modelo simular a CBO_u foi necessário converter os valores de CBO_5 em $\text{CBOC}_{rápida}$ (CBO_u) usando a seguinte relação:

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

Em que:

k - constante cinética de decomposição de CBOC (d^{-1}) (Pelletier et al., 2006).

Os valores de k para águas poluídas e efluentes contaminados com carbono orgânico variam entre 0,05-0,3 d^{-1} (Chapra, 1997). Assumiu-se para o valor de k , 0,18 d^{-1} (rácio $\text{CBO}_u/\text{CBO}_5 = 1,7$).

A CBOC_{lenta} foi calculada da seguinte forma:

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

O modelo QUAL2Kw considera ainda como variáveis de entrada, o fósforo orgânico e o fósforo inorgânico. No entanto, com base nas análises efetuadas apenas se obtiveram as

concentrações de fósforo total, pelo que se considerou por simplificação uma distribuição igual do fósforo, em fósforo orgânico e fósforo inorgânico.

7.6 Resultados

Observando os resultados obtidos (Figuras 7.5 a 7.40) constata-se que o processo de calibração para os vários parâmetros é aceitável. No entanto, a modelação realizada no QUAL2Kw foi dificultada pela variabilidade dos valores que alguns parâmetros apresentam ao longo do curso da ribeira em estudo para as várias campanhas realizadas. Esta variabilidade é provocada principalmente por valores demasiado elevados obtidos nos parâmetros analisados. Estes valores invulgarmente elevados podem estar relacionados com descargas na ribeira da Líria provenientes da ETAR ou de outras fontes, como por exemplo das indústrias existentes em Alcains.

7.6.1 Caudal

Analisando os gráficos produzidos pelo QUAL2Kw, verifica-se que o modelo de calibração do caudal está em harmonia com os valores determinados para as três campanhas de amostragem (Figuras 7.5, 7.6 e 7.7). Os caudais mais elevados foram observados na primeira e segunda campanha (Janeiro e Abril 2010) diminuindo de modo muito significativo para a campanha realizada no período seco (Junho 2010).

A modelação da variação do caudal apresenta uma progressão linear, apresentando ligeiras inflexões (Figuras 7.5, 7.6 e 7.7).

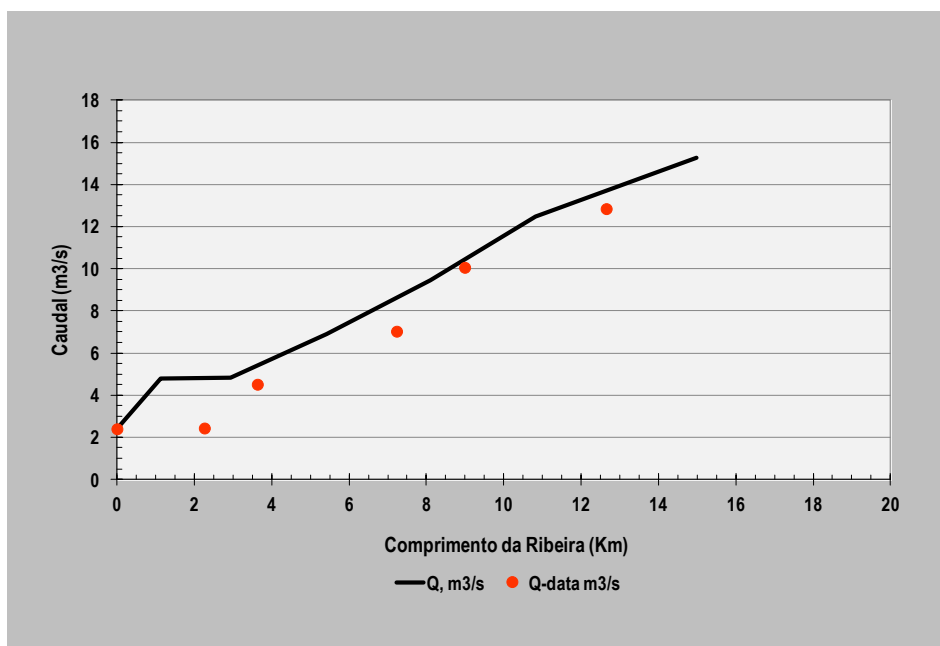


Figura 7.5 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o caudal da ribeira da Líria - Janeiro de 2010

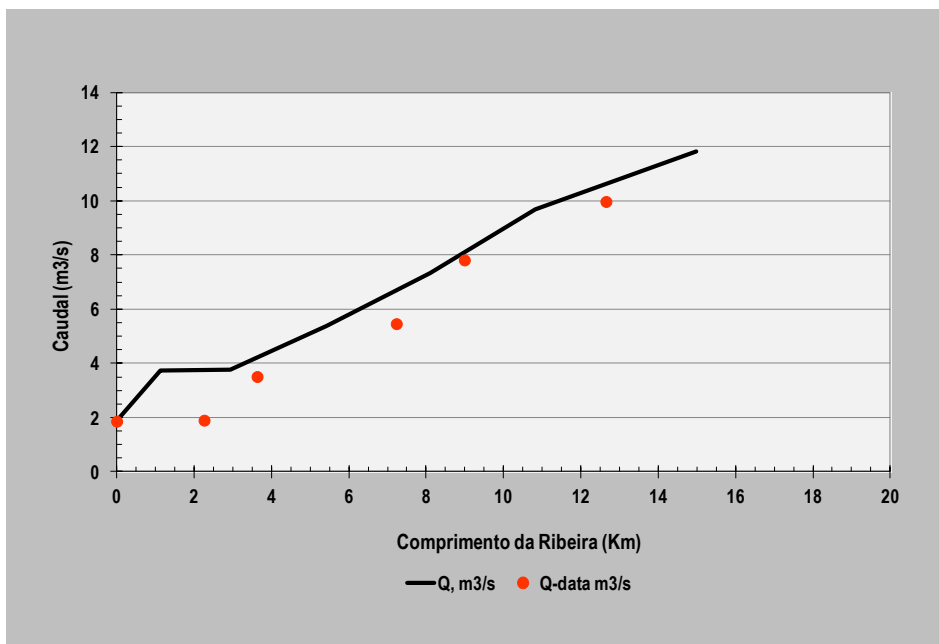


Figura 7.6 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o caudal da ribeira da Líria - Abril de 2010

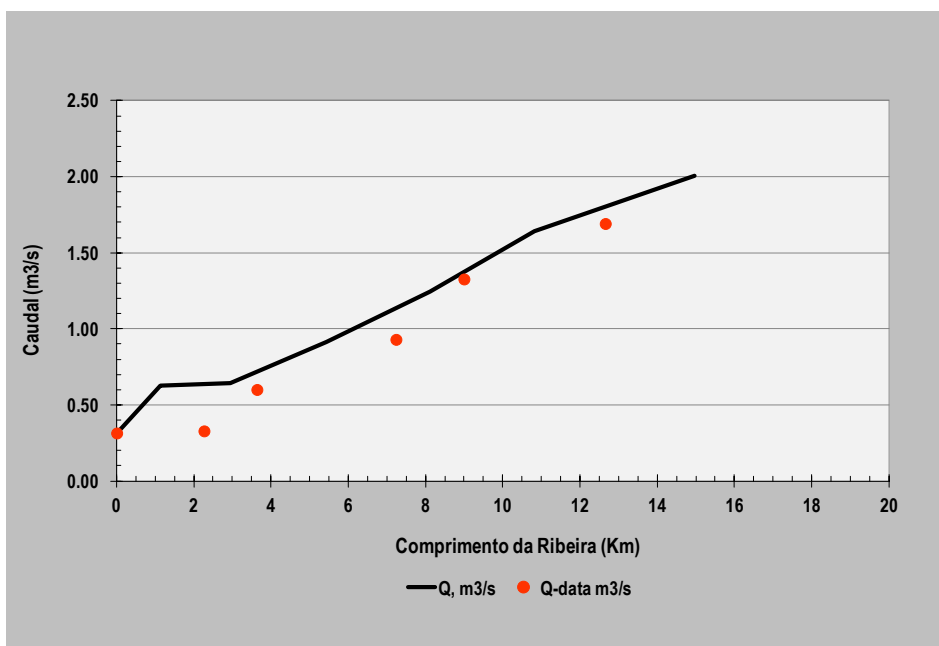


Figura 7.7 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o caudal da ribeira da Líria - Junho de 2010

7.6.2 Temperatura da Água

Observando os gráficos produzidos pelo QUAL2Kw, relativos à calibração para a temperatura da água, constata-se que se aproxima de uma forma razoável aos valores medidos no local para as três campanhas de amostragem realizadas (Figuras 7.8, 7.9 e 7.10).

De referir, que as temperaturas foram medidas nos vários pontos ao longo da ribeira da Líria em horários diferentes nas três campanhas. Na 1ª campanha, as colheitas realizaram-se entre as 9:51 horas e as 17:06 horas, na 2ª campanha efetuaram-se entre as 10:55 e as 15:36

horas e na 3ª campanha decorreram entre as 12:42 horas e as 17:10 horas. A ordem utilizada para se proceder às colheitas foi diferente entre a primeira campanha e as restantes duas; pois na primeira, decorreu desde o primeiro ponto para o último, enquanto nas duas últimas campanhas, ocorreu o inverso. Este facto, pode influenciar o sentido de progressão dos modelos de calibração para a temperatura da água.

Os valores da temperatura da água variaram em função das estações do ano em que decorreram as campanhas de colheitas, apresentando o valor mínimo de 7,50 °C na 1ª campanha (Figura 7.8) e o máximo de 29,7 °C obtido na 3ª campanha (Figura 7.9).

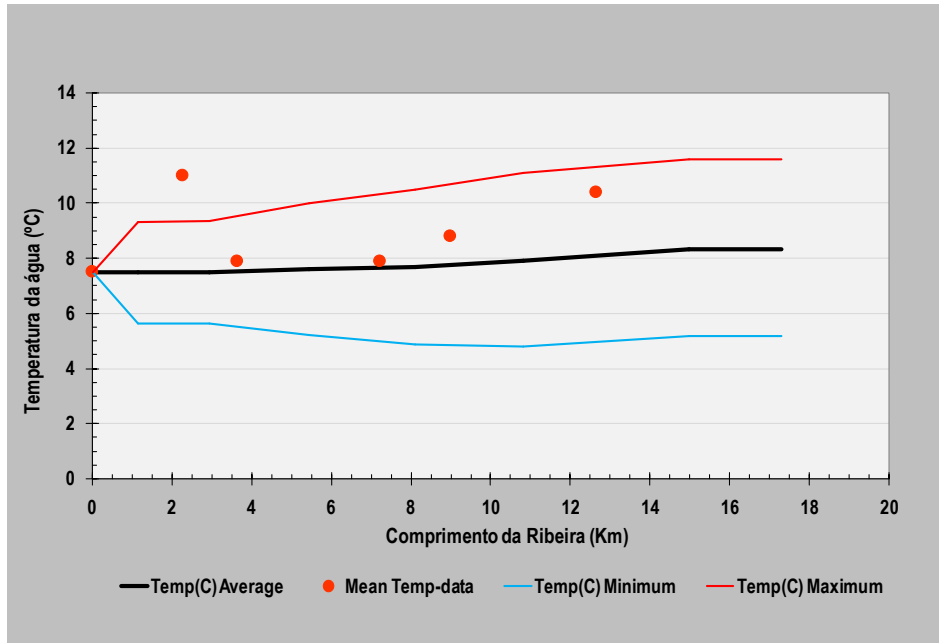


Figura 7.8 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a temperatura da água - Janeiro de 2010

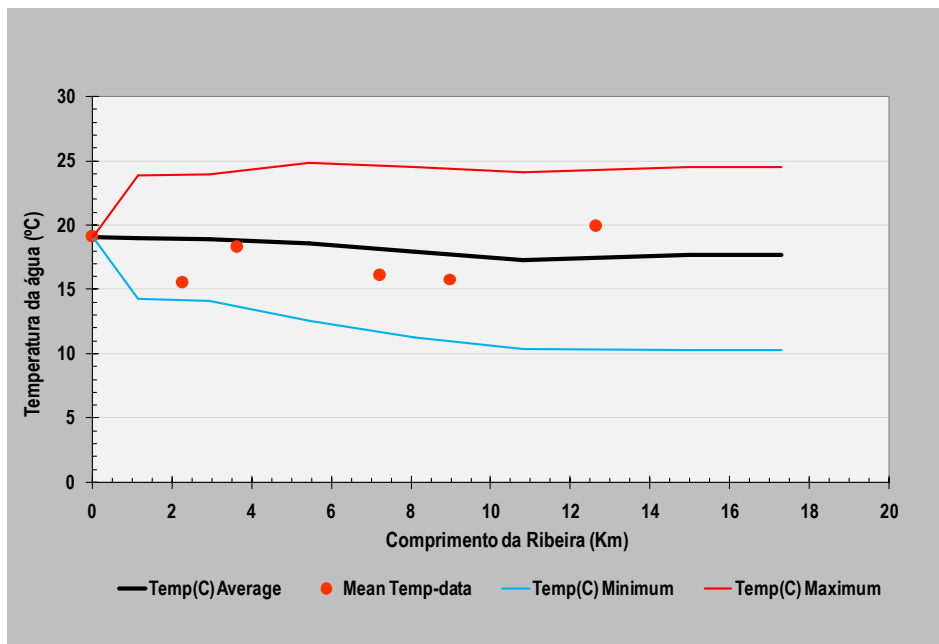


Figura 7.9 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a temperatura da água - Abril de 2010

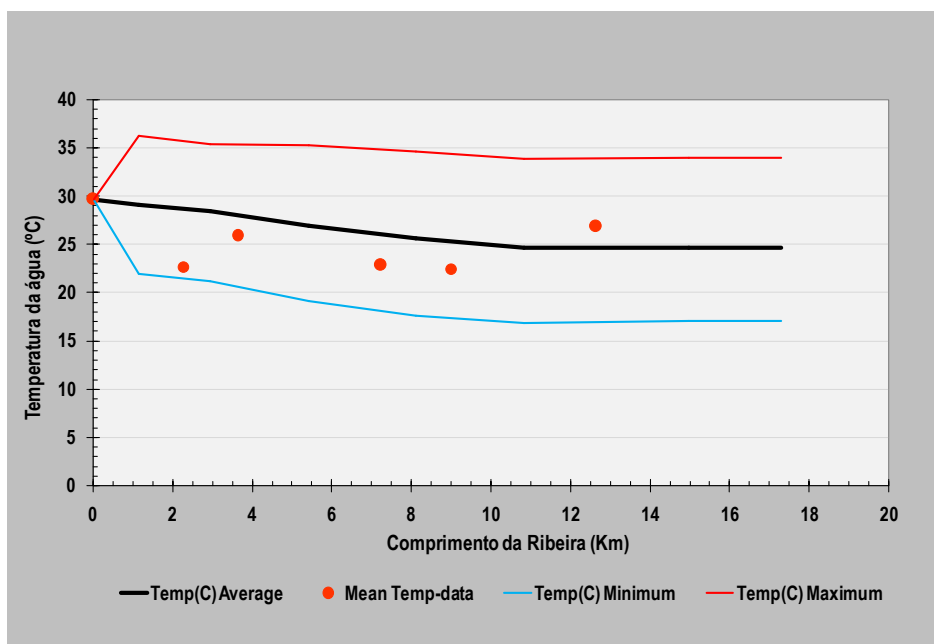


Figura 7.10 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a temperatura da água - Junho de 2010

7.6.3 Condutividade Elétrica

A previsão da condutividade elétrica obtida pelo QUAL2Kw apresenta, para todas as campanhas, modelações que não acompanham os máximos medidos (Figuras 7.11, 7.12 e 7.13). No entanto, refletem a tendência de crescimento da condutividade elétrica ao longo do curso da ribeira da Lória.

Comparando os modelos das três campanhas observa-se que exibem semelhante forma de evolução (Figuras 7.11, 7.12 e 7.13).

Destaca-se, o facto dos valores mais elevados de condutividade elétrica terem sido obtidos na ETAR de Alcains (ponto 2 do gráfico correspondente ao AL7) e a jusante da descarga da ETAR Sul de Castelo Branco (ponto 6 do gráfico correspondente ao AL17), enquanto o menor valor de condutividade elétrica foi obtido a montante da descarga da ETAR Norte de Castelo Branco (ponto 4 do gráfico correspondente ao AL11).

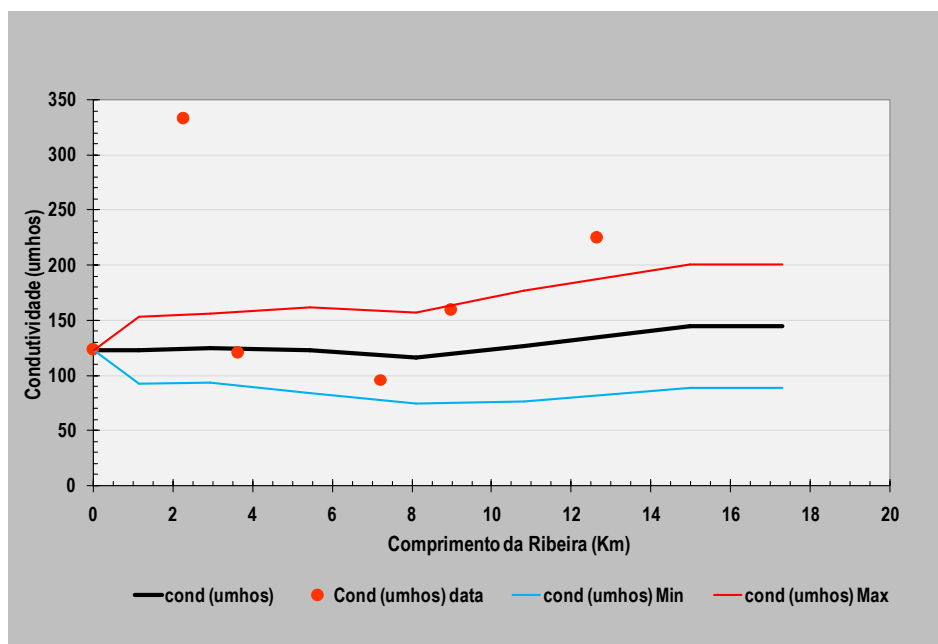


Figura 7.11 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a condutividade elétrica - Janeiro de 2010

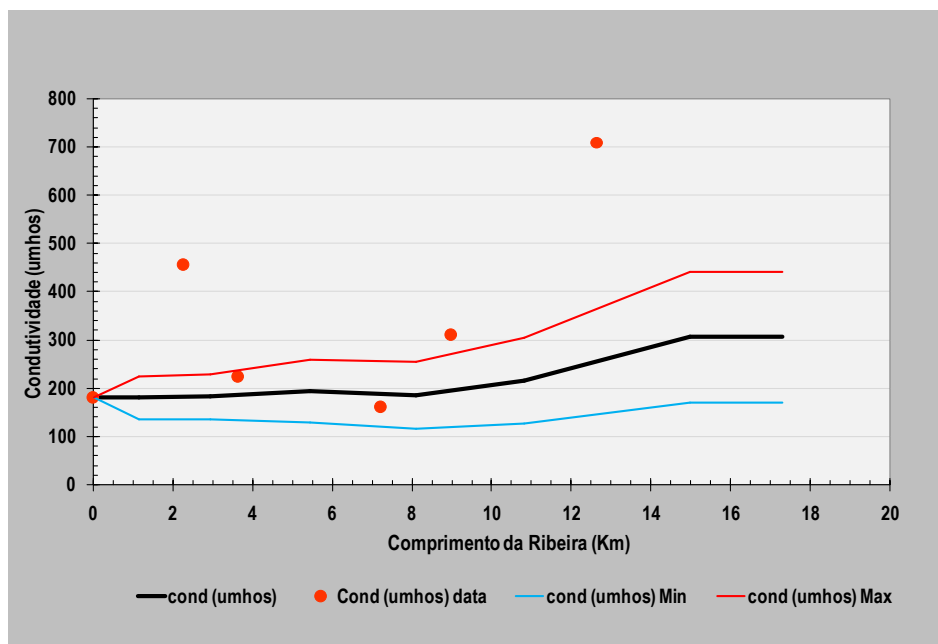


Figura 7.12 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a condutividade elétrica - Abril de 2010

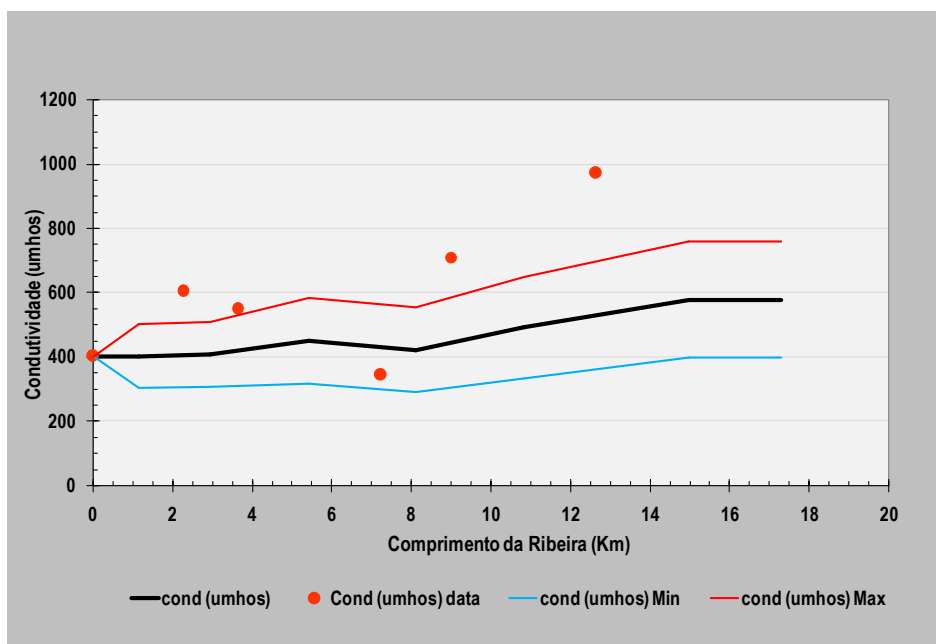


Figura 7.13 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a condutividade elétrica - Junho de 2010

7.6.4 Sólidos Suspensos Totais

Em relação aos sólidos suspensos totais, o modelo definido pelo QUAL2Kw não conseguiu aproximar-se dos valores máximos medidos (Figuras 7.14, 7.15 e 7.16). Conforme expectável, verifica-se que existem aumentos dos valores de SST que se destacam dos restantes no ponto de recolha de água da ETAR de Alcains (ponto 2 do gráfico correspondente ao AL7, Figuras 7.14 e 7.16) e nos pontos de água a jusante da descarga das duas ETAR de Castelo Branco (ponto 5 do gráfico correspondente ao AL13 e ponto 6 do gráfico correspondente ao AL17), no entanto este aumento não é uniforme nas três campanhas de amostragem realizadas (Figuras 7.14, 7.15 e 7.16). Contudo, pode considerar-se que as modelações são relativamente satisfatórias.

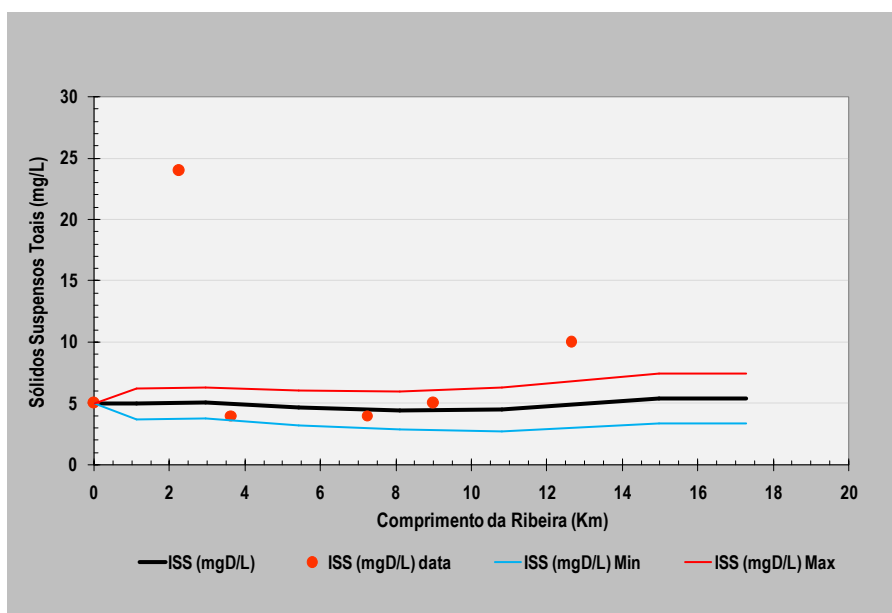


Figura 7.14 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os sólidos suspensos totais - Janeiro de 2010

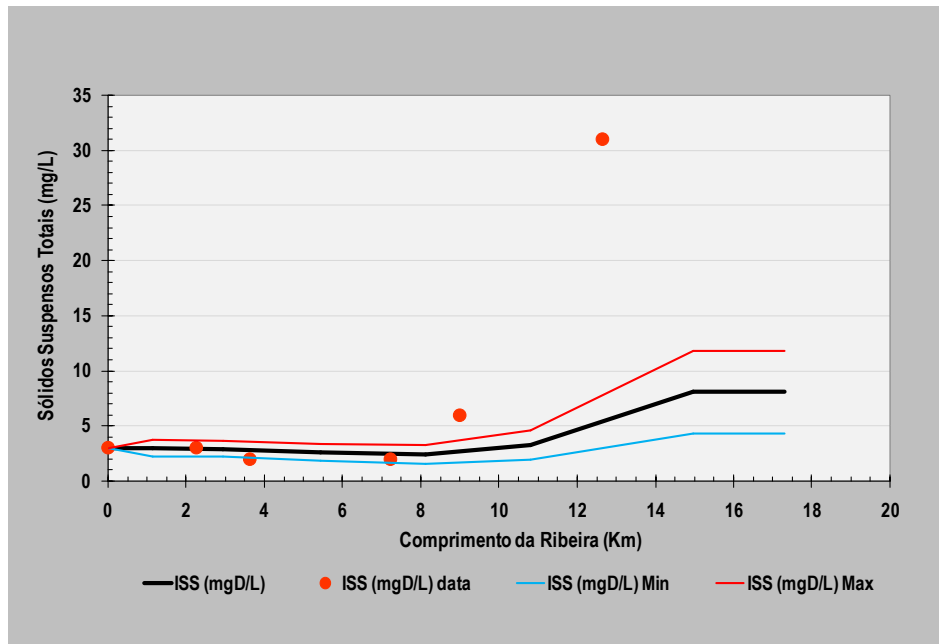


Figura 7.15 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os sólidos suspensos totais - Abril de 2010

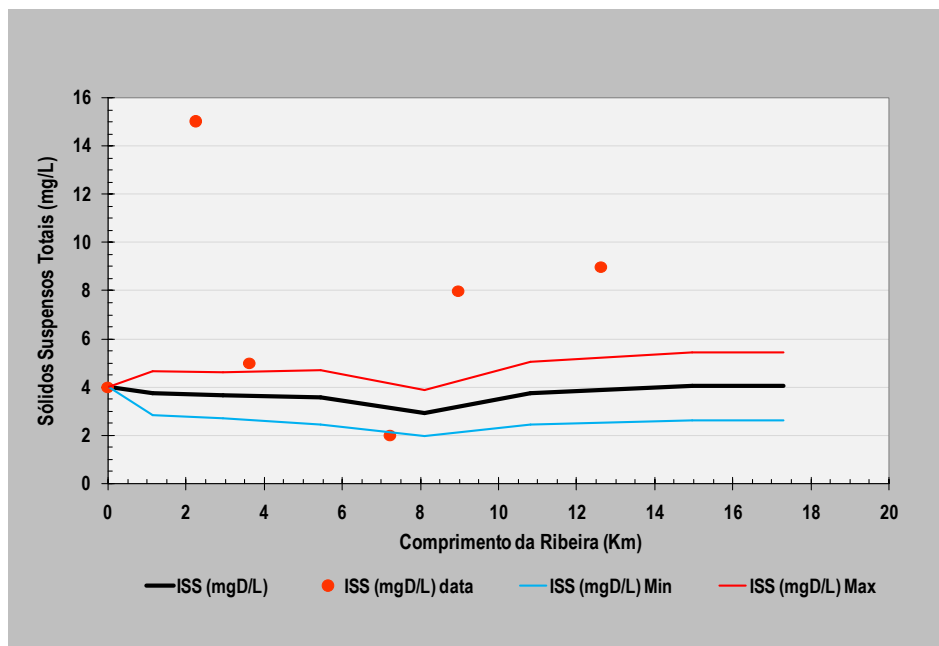


Figura 7.16 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os sólidos suspensos totais - Junho de 2010

7.6.5 Oxigénio Dissolvido

Os modelos de calibração fornecidos pelo QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido são aceitáveis, verificando-se uma melhor concordância com os dados obtidos na 1ª campanha (Figura 7.17).

Observa-se que os valores do oxigénio dissolvido na campanha de Janeiro 2010 são praticamente constantes ao longo do curso da ribeira da Líria (Figura 7.17), enquanto para as campanhas de Abril 2010 (Figura 7.18) e Junho 2010 (Figura 7.19) são relativamente oscilantes,

sem uma tendência bem definida. Contudo, pode referir-se que as oscilações dos valores de oxigénio dissolvido indicam que as águas superficiais estão a sofrer diretamente a influência das descargas da ETAR de Alcains e de Castelo Branco.

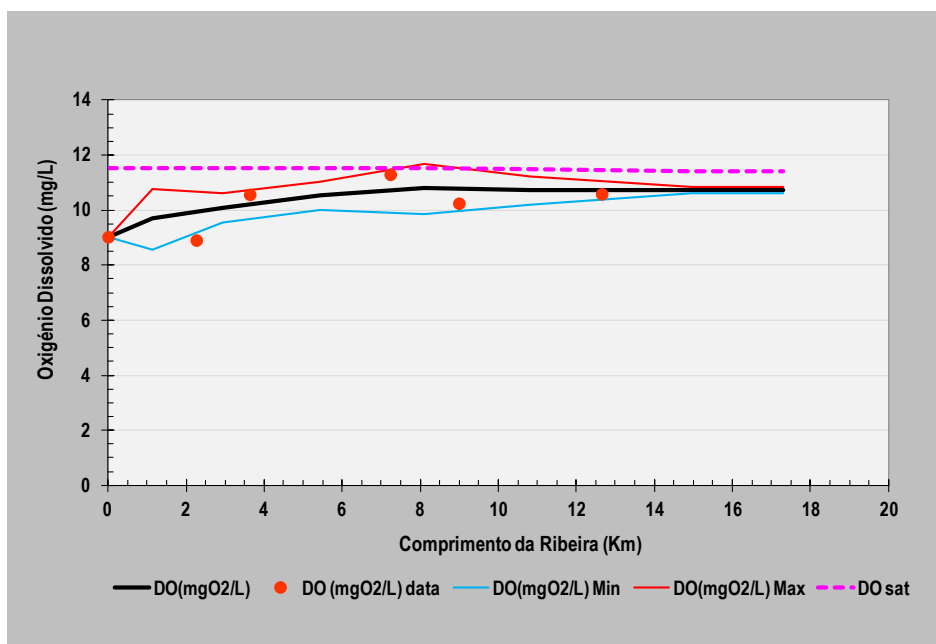


Figura 7.17 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido - Janeiro de 2010

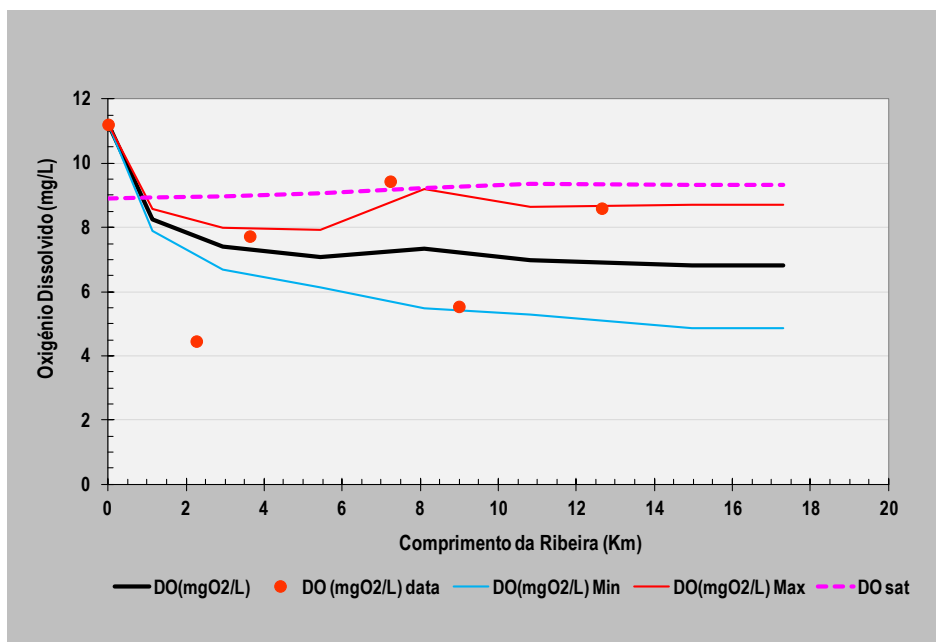


Figura 7.18 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido - Abril de 2010

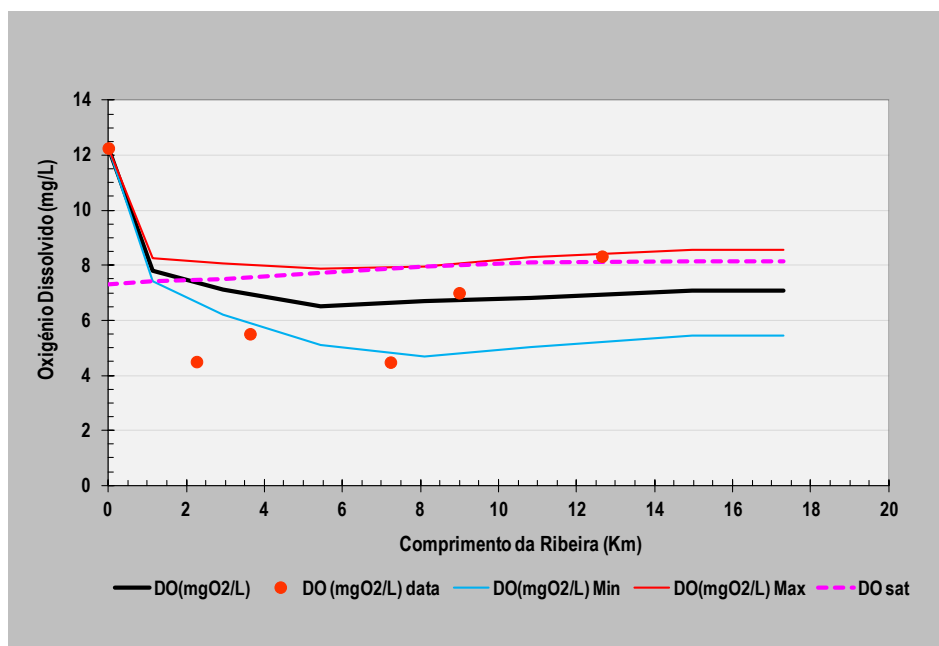


Figura 7.19 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o oxigénio dissolvido - Junho de 2010

7.6.6 Carência Bioquímica de Oxigénio

No que se refere à carência bioquímica de oxigénio, os resultados dos modelos determinados no QUAL2Kw variam de forma significativa de campanha para campanha (Figuras 7.20, 7.21 e 7.22). Na primeira campanha, os valores observados concordam com os resultados obtidos no modelo, com exceção do valor observado na ETAR de Alcains (ponto 2 do gráfico correspondente ao AL7), por apresentar um valor excessivo comparativamente com os restantes (Figura 7.20). Os resultados para a segunda e terceira campanhas ajustam-se de forma aceitável (Figura 7.21 e 7.22). No entanto, os valores observados variam sem uma tendência bem definida, o que dificulta a aproximação do modelo aos valores obtidos.

De salientar, que os valores de CBO obtidos nas colheitas ultrapassam o valor VMA (VMA $CBO_5 = 5 \text{ mg/l}$), estabelecido no Anexo XXI - Objetivos ambientais de qualidade mínima para as águas superficiais do Decreto-Lei nº 236/98 (Diário da República, 1998); o que pode apoiar os resultados obtidos nas simulações.

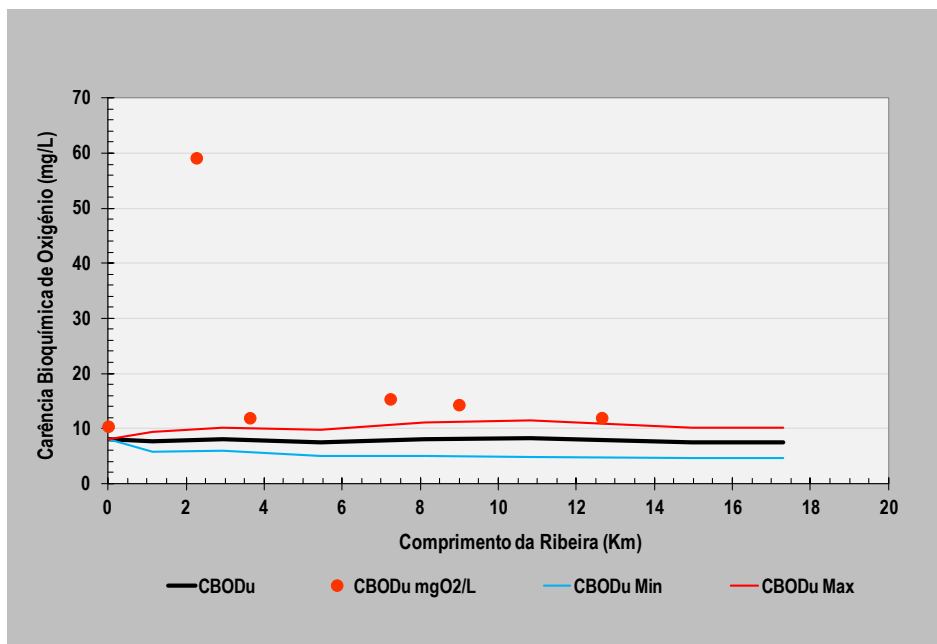


Figura 7.20 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio - Janeiro de 2010

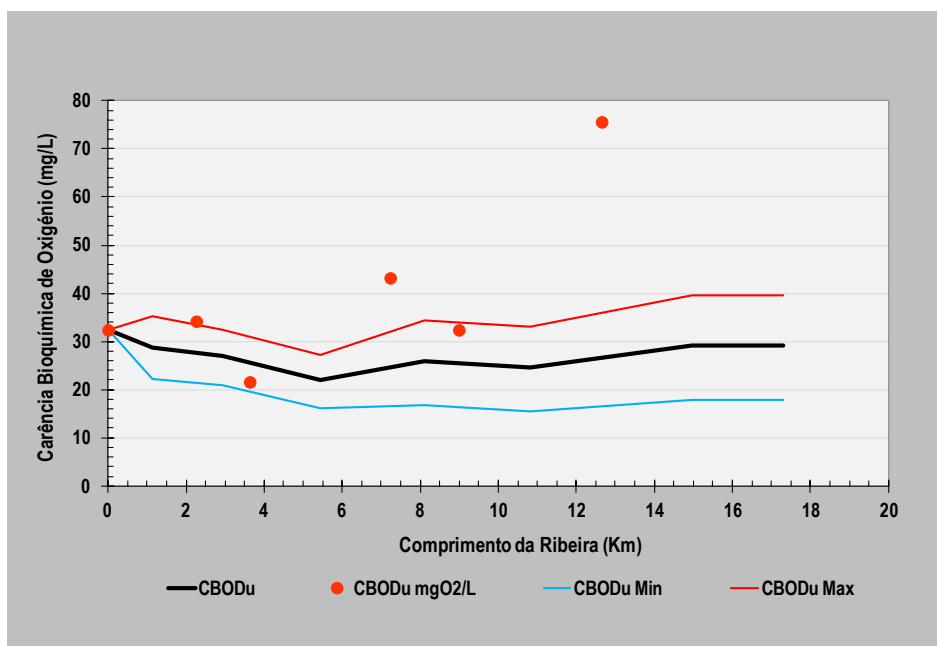


Figura 7.21 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio - Abril de 2010

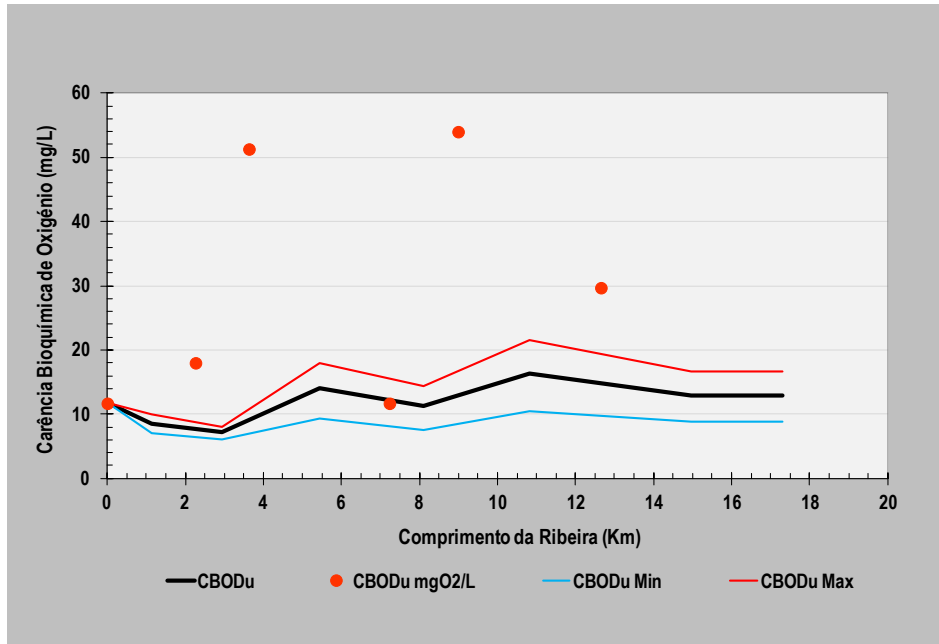


Figura 7.22 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio - Junho de 2010

Os resultados obtidos no modelo de calibração para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta apresentam um comportamento idêntico ao da carência bioquímica de oxigénio (Figuras 7.20 a 7.25).

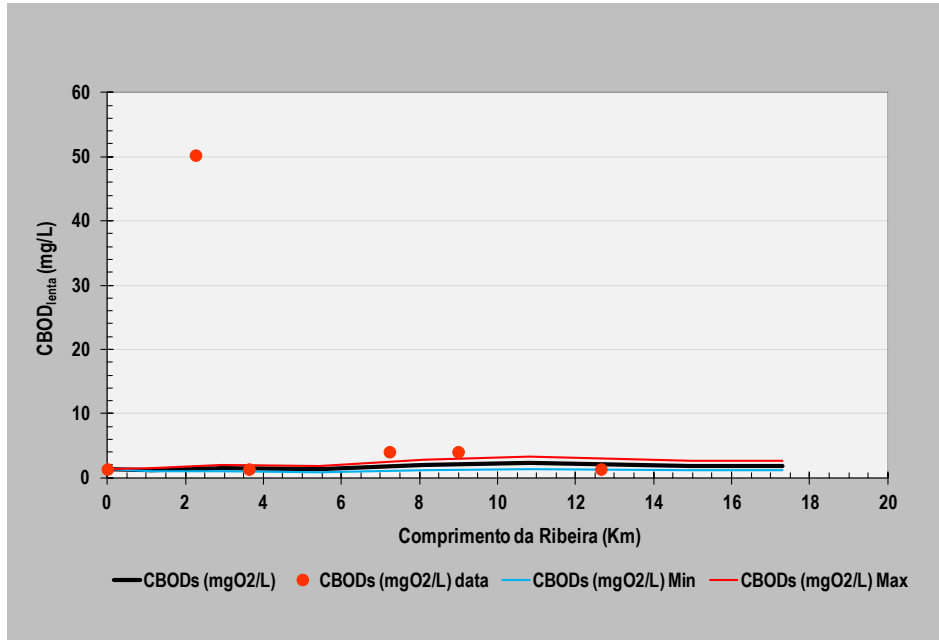


Figura 7.23 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta - Janeiro de 2010

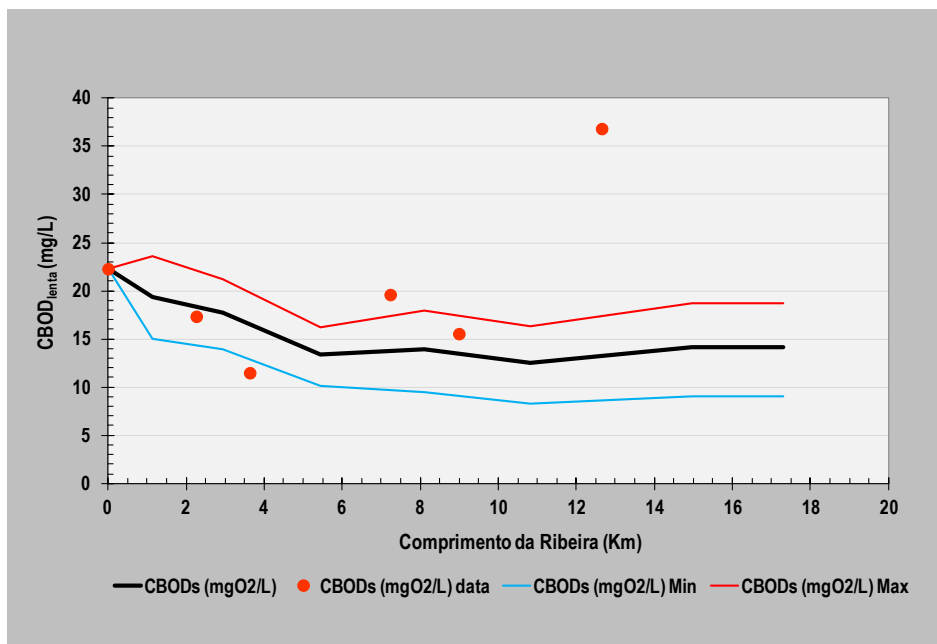


Figura 7.24 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta - Abril de 2010

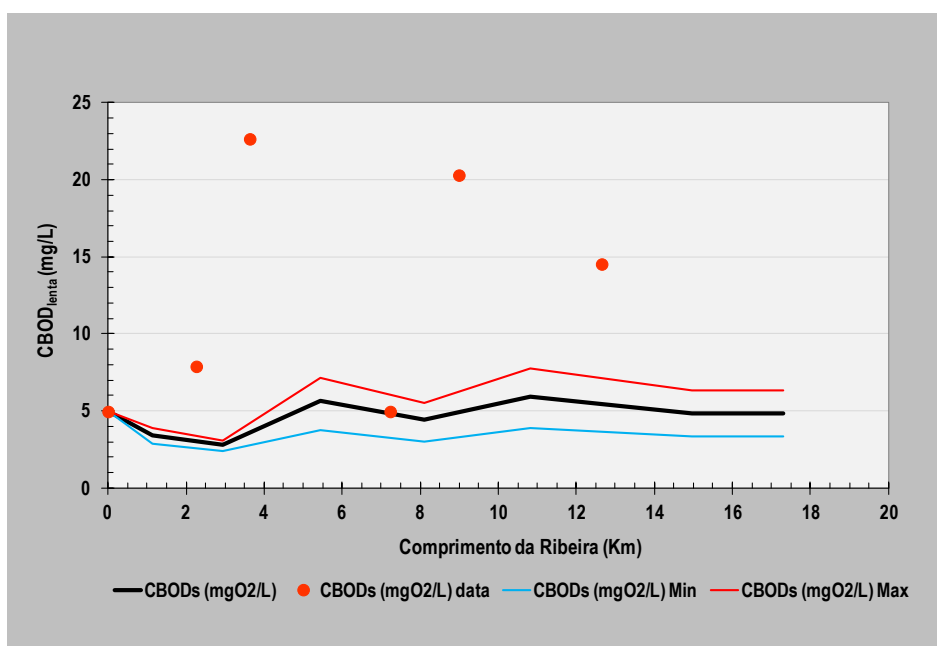


Figura 7.25 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação lenta - Junho de 2010

Os resultados obtidos no modelo de calibração da carência bioquímica de oxigénio de reação rápida, à semelhança do ocorrido com o modelo da CBO lenta, também apresentam um comportamento idêntico ao da carência bioquímica de oxigénio (Figuras 7.20 a 7.28).

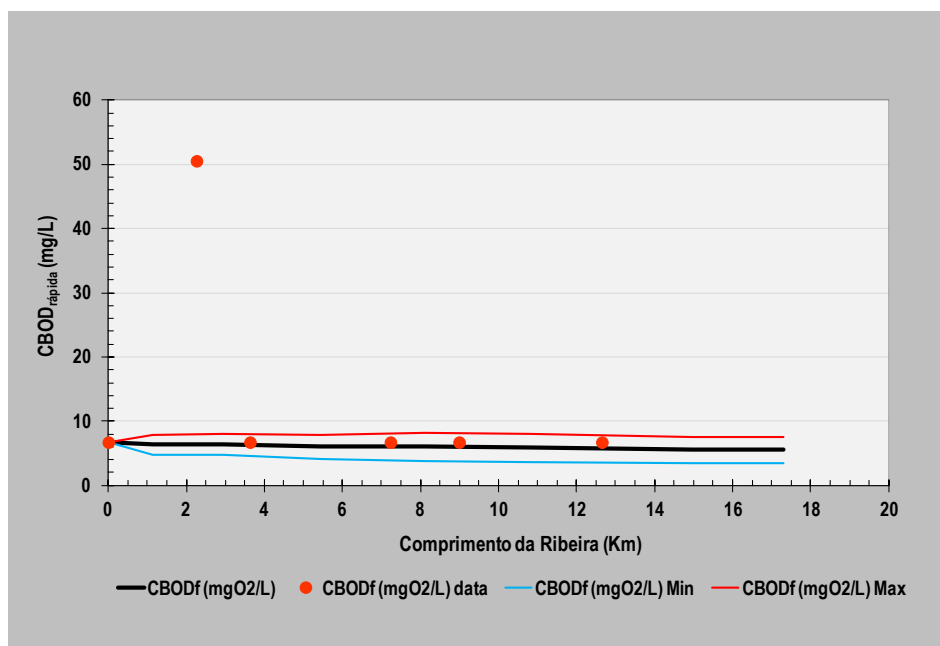


Figura 7.26 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação rápida - Janeiro de 2010

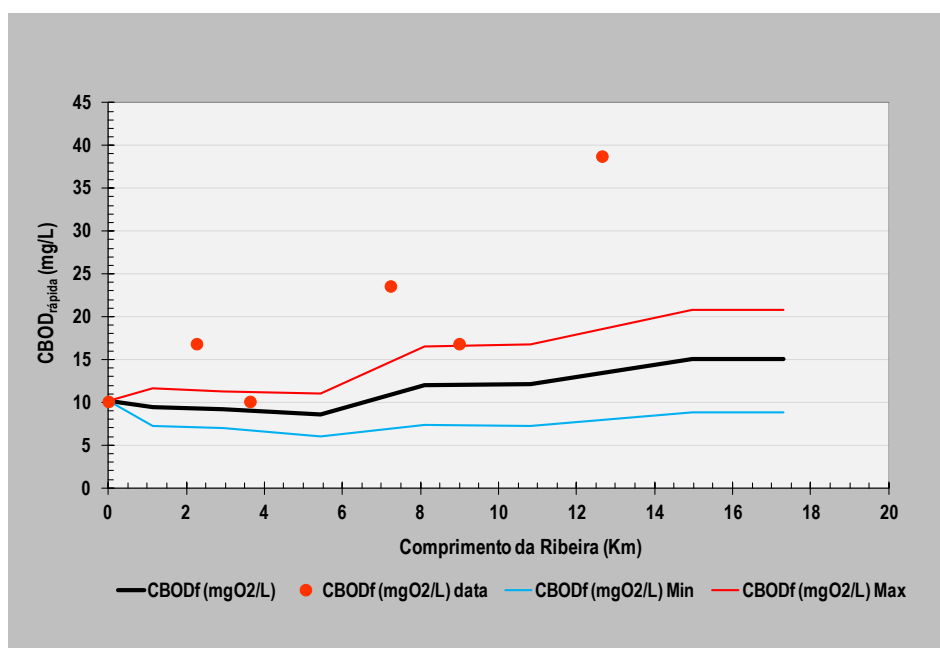


Figura 7.27 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação rápida - Abril de 2010

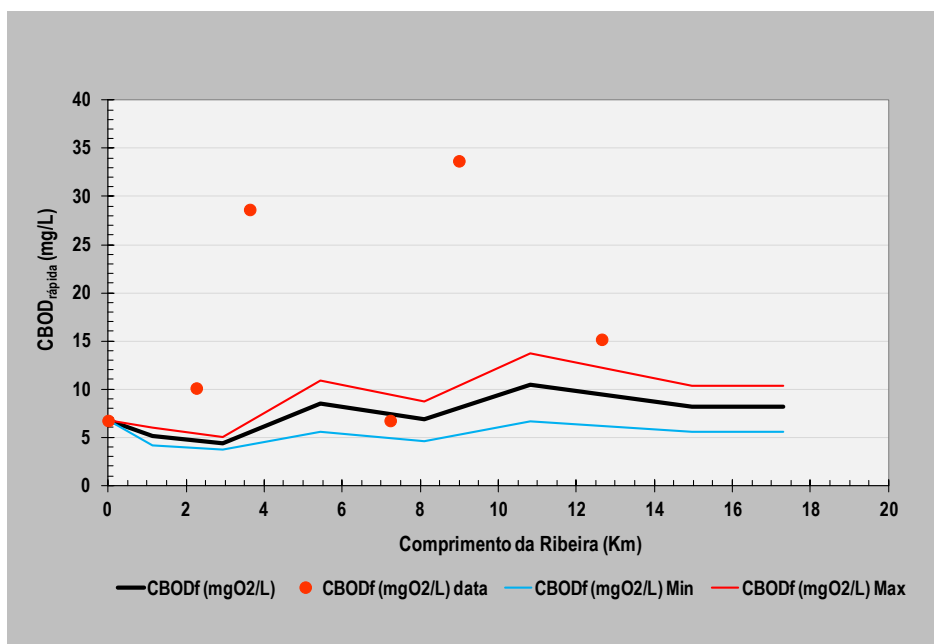


Figura 7.28 - Modelação obtida no QUAL2Kw para a carência bioquímica de oxigénio de reação rápida - Junho de 2010

7.6.7 Fósforo Total

Os valores de fósforo orgânico e de fósforo inorgânico foram estimados a partir dos resultados obtidos para o fósforo total, considerando que cada um representa 50% do fósforo total. Assim sendo, os resultados da calibração do modelo para o fósforo orgânico e para o fósforo inorgânico são bastante semelhantes (Figuras 7.29 a 7.34).

Os modelos obtidos são semelhantes entre a campanha de Janeiro 2010 e a campanha de Junho 2010 (Figuras 7.29, 7.32 e Figuras 7.31, 7.34) destacando-se a campanha de Abril 2010 com valores mais baixos (Figuras 7.30 e 7.33), numa ordem de grandeza de cem vezes menor, relativamente às duas restantes campanhas.

Na campanha de Abril 2010, o modelo apresenta um ajustamento aceitável aos valores medidos (Figuras 7.30 e 7.33).

No que se refere à campanha de Janeiro 2010 (Figura 7.32) e Junho 2010 (Figura 7.31), a modelação é representada por uma reta dado que os pontos seleccionados para a calibração apresentam valores iguais. No entanto, a modelação do fósforo inorgânico para a campanha de Junho 2010 (Figura 7.34) não consegue traduzir a constância dos dados introduzidos no modelo e representa uma tendência de decréscimo dos valores de fósforo inorgânico ao longo do curso da ribeira da Lória.

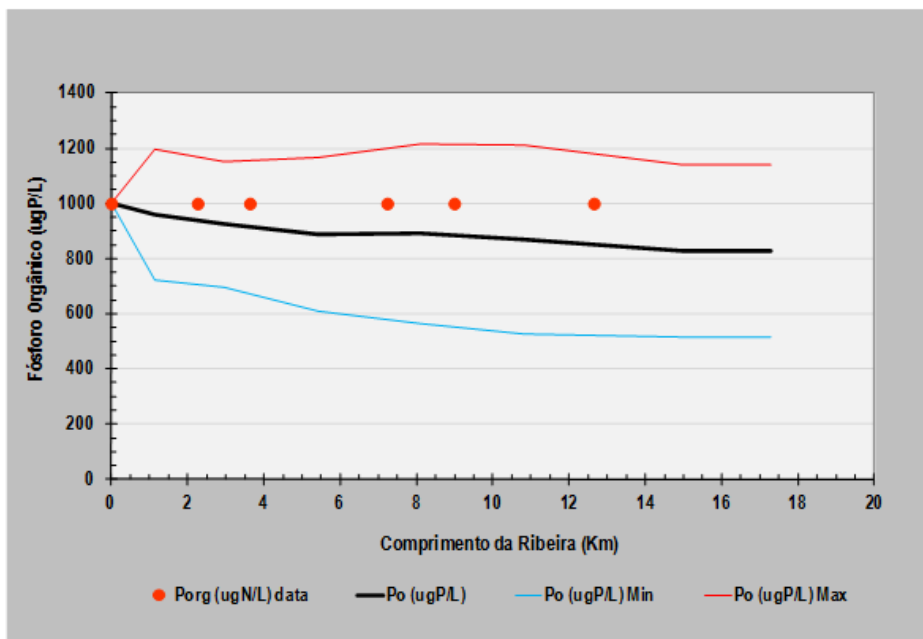


Figura 7.29 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo orgânico - Janeiro de 2010

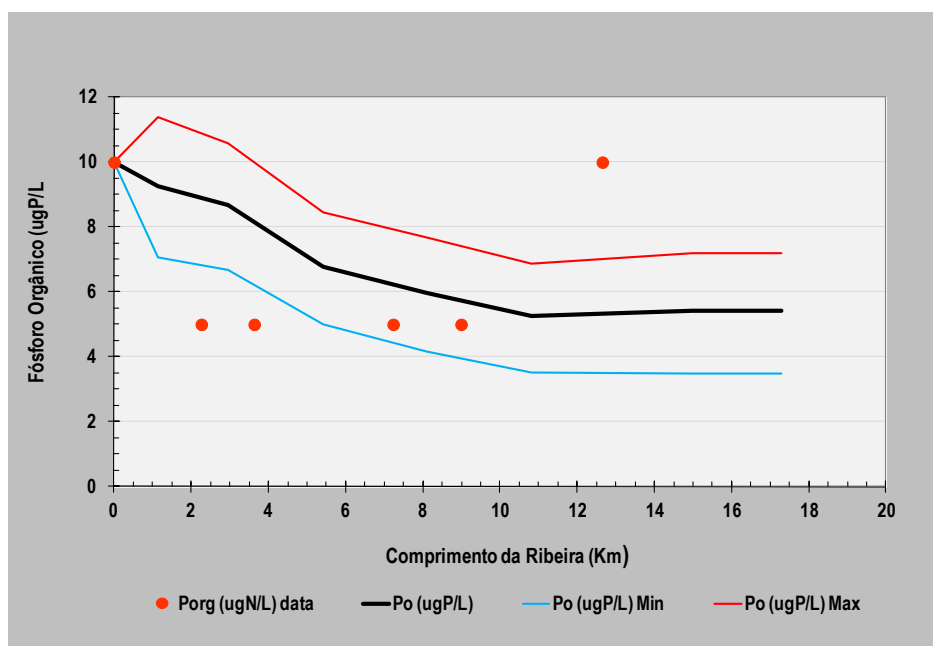


Figura 7.30 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo orgânico - Abril de 2010

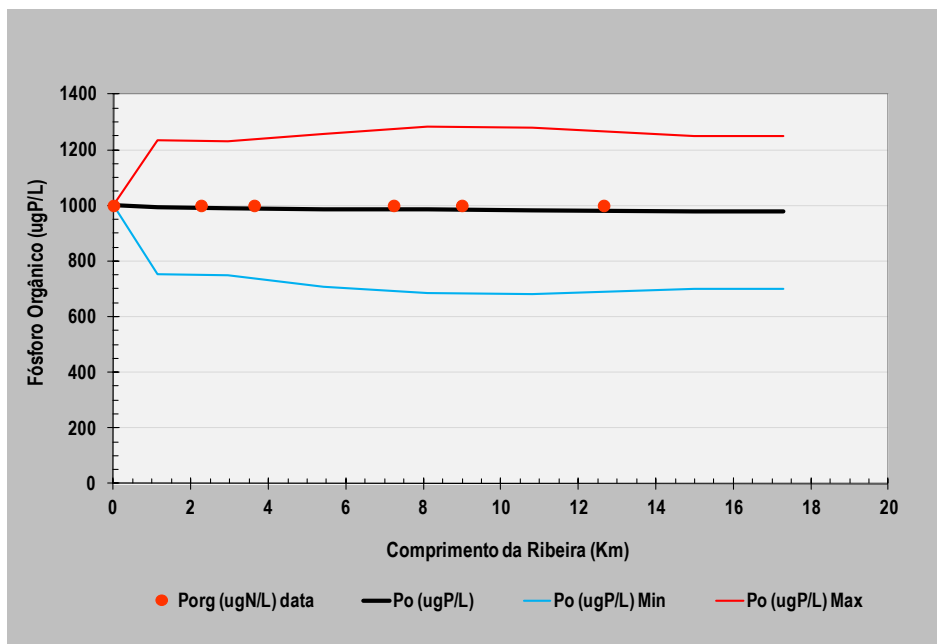


Figura 7.31 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo orgânico - Junho de 2010

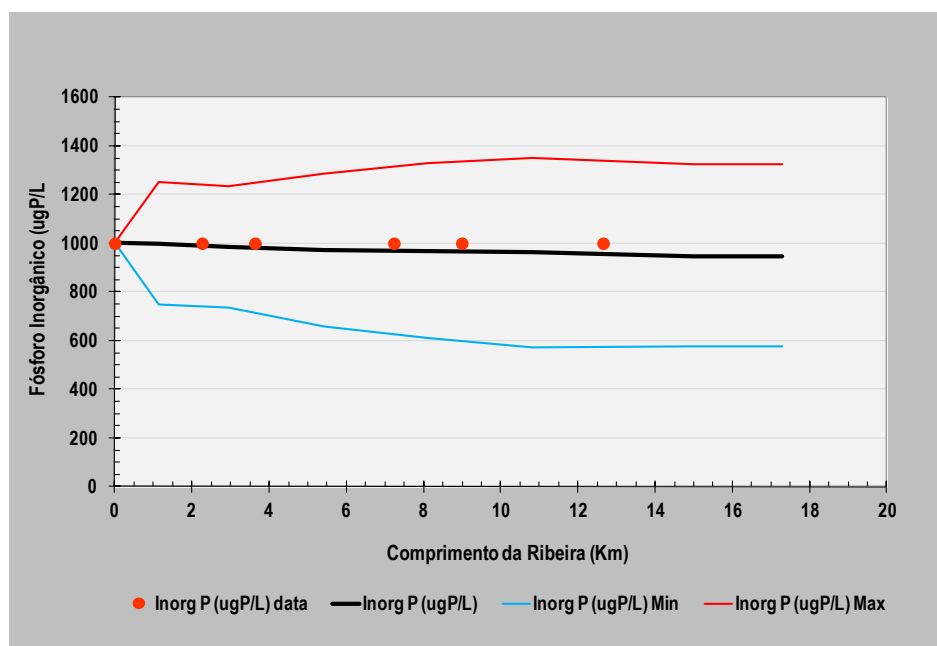


Figura 7.32 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo inorgânico - Janeiro de 2010

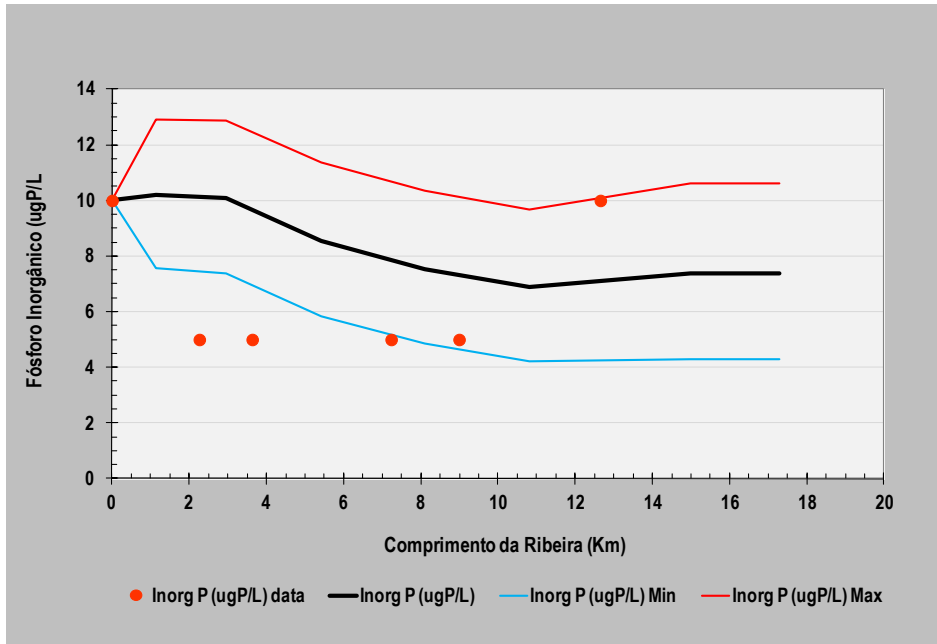


Figura 7.33 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo inorgânico - Abril de 2010

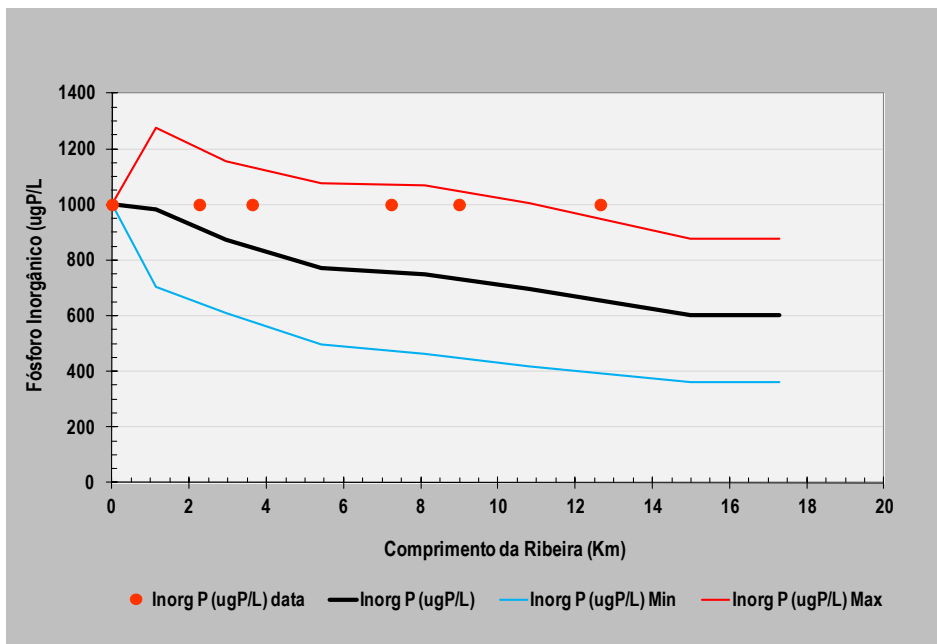


Figura 7.34 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o fósforo inorgânico - Junho de 2010

7.6.8 pH

O modelo projetado para o pH pelo QUAL2Kw está em concordância com os valores de pH introduzidos no programa para a calibração.

Os modelos obtidos para todas as campanhas são muito semelhantes e representam uma tendência de valores de pH relativamente constantes ao longo da ribeira.

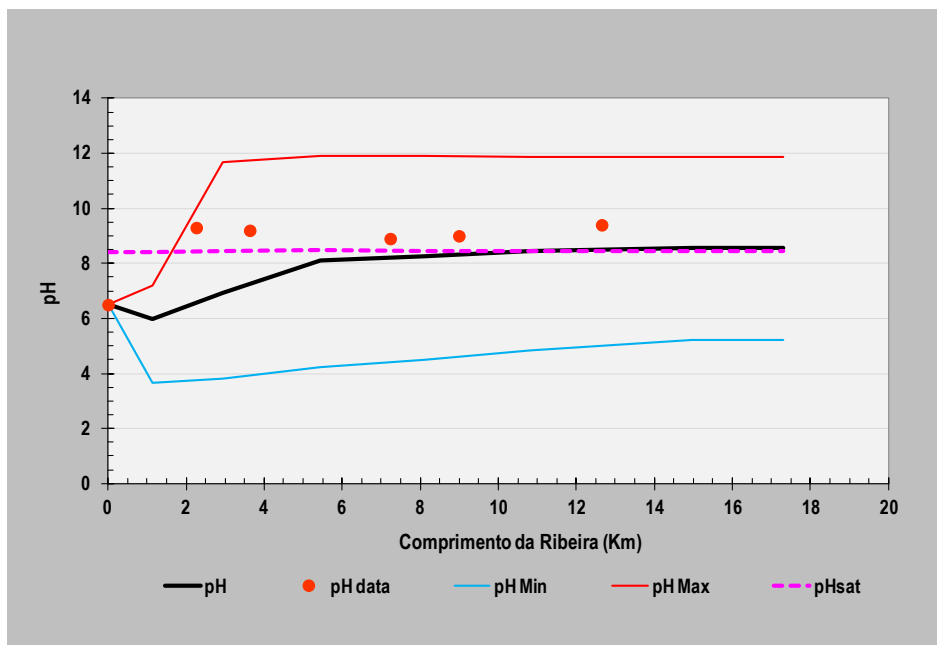


Figura 7.35 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o pH - Janeiro de 2010

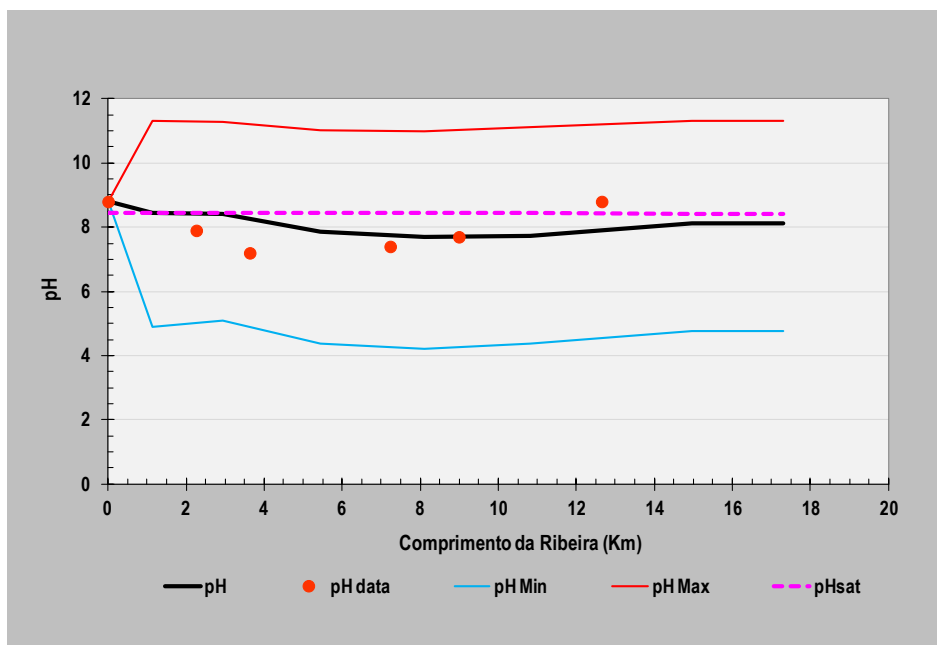


Figura 7.36 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o pH - Abril de 2010

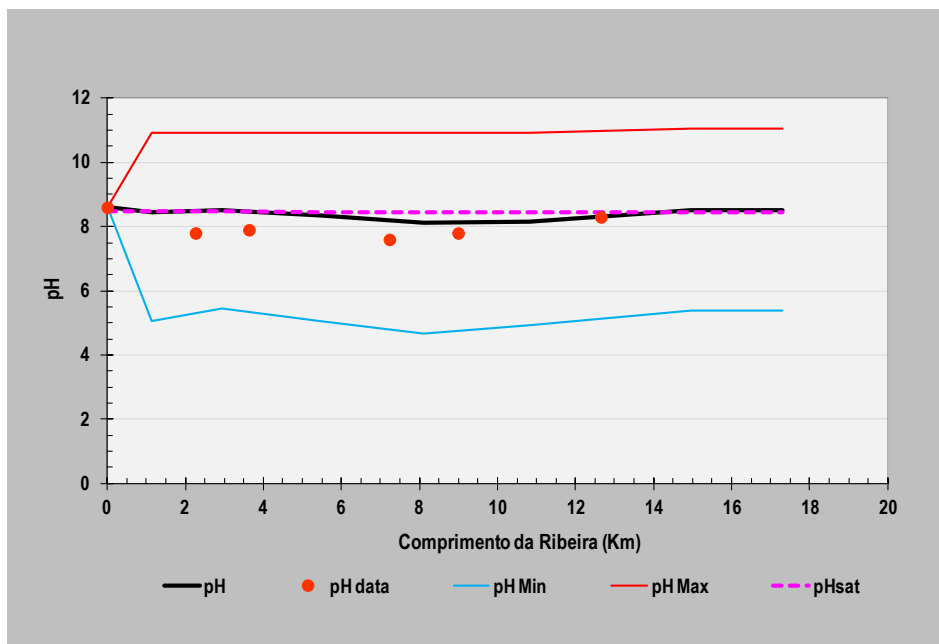


Figura 7.37 - Modelação obtida no QUAL2Kw para o pH - Junho de 2010

7.6.9 Coliformes Fecais

Os valores introduzidos no QUAL2Kw para realizar a modelação do parâmetro coliformes fecais apresentam nas campanhas de Abril 2010 e de Junho 2010 um valor que se destaca por excesso, em comparação com os restantes utilizados nestas campanhas (Figuras 7.38, 7.39 e 7.40). No entanto, os valores obtidos nas amostras para calibrar o modelo na campanha de Janeiro 2010 apresentam-se todos na mesma ordem de grandeza (Figura 7.38). Deste modo, o resultado do modelo ajusta-se de forma bastante aceitável aos valores medidos na campanha de Janeiro 2010 (Figura 7.38), o que não acontece na de Abril 2010 (Figura 7.39) e de Junho 2010 (Figura 7.40), dado que os respetivos modelos não conseguiram integrar os valores excessivamente elevados.

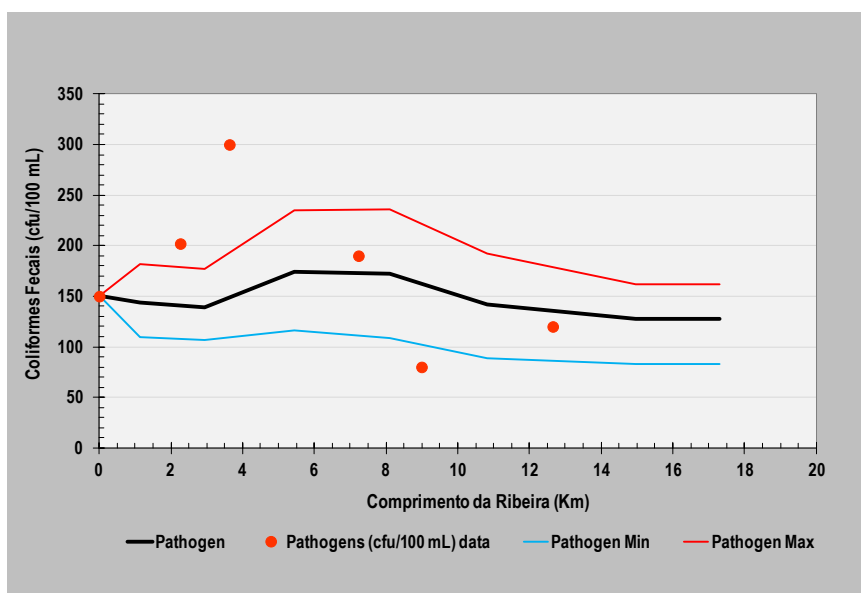


Figura 7.38 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os coliformes fecais - Janeiro de 2010

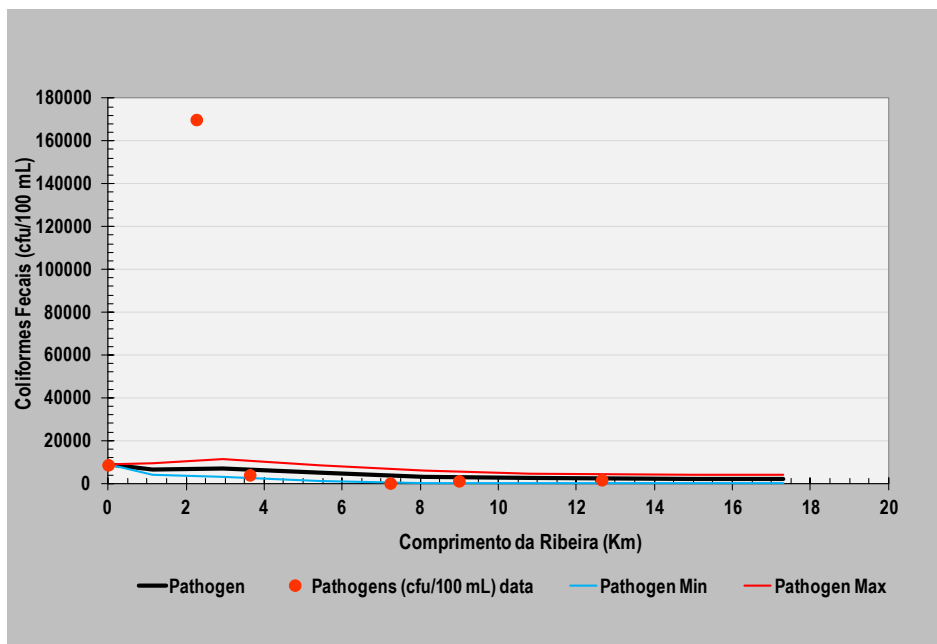


Figura 7.39 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os coliformes fecais - Abril de 2010

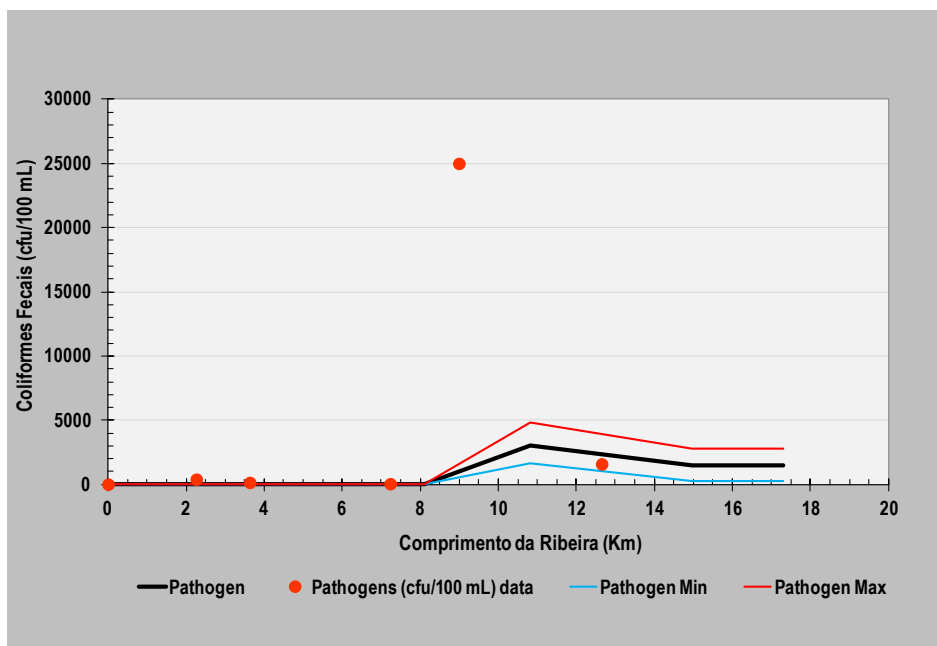


Figura 7.40 - Modelação obtida no QUAL2Kw para os coliformes fecais - Junho de 2010

7.7 Condicionantes e Limitações na Calibração

Tendo em conta as modelações realizadas através do QUAL2Kw, para os vários parâmetros apresentados, constata-se que o método de calibração apresentou algumas limitações na caracterização do impacte das descargas da ETAR de Alcains e de Castelo Branco na ribeira da Lória. Dessas limitações destacam-se as seguintes:

- Insuficientes dados de campo no espaço e principalmente no tempo. O número de pontos de recolha de amostras de água deveria ser superior, ou seja seria importante reduzir a distância entre os pontos água no curso da ribeira da Lória. Em simultâneo, a recolha de amostras nos vários pontos deveria ser obtida ao longo de um dia completo, com intervalos constantes de uma hora. De modo, a confirmar a variabilidade sazonal dos parâmetros avaliados deveriam ser repetidas as campanhas de recolha de amostragem de água ao longo de vários anos no mesmo mês, reduzindo deste modo as incertezas nos valores de calibração introduzidos no QUAL2Kw;
- As amostras de água não foram recolhidas sempre com a mesma ordem de sequência: No entanto, esta condicionante poderia ser resolvida através da sugestão referida no ponto anterior, que consiste em efetuar a recolha de todos os pontos de amostragem ao longo de um dia completo;
- Identificação e recolha de amostras de todas as entradas pontuais ao longo do curso da ribeira da Lória, principalmente as referentes a atividades industriais situadas em Alcains. No presente estudo não foi possível identificar saídas de caudal pontuais da ribeira da Lória, impossibilitando deste modo a sua introdução no modelo;
- Outro aspeto não considerado nos modelos simulados, referem-se às contribuições difusas de poluentes ao longo do curso da ribeira da Lória; dado que não foi possível quantificá-las com rigor;
- A determinação dos valores dos caudais para os pontos de calibração da ribeira da Lória e seus afluentes foi estimada através da fórmula de Giandotti. Esta opção foi imposta por não se dispor de caudalímetros que possibilitassem a sua correta medição nos locais de recolha de água;
- Entre as três opções de modelos de cálculo do sistema hidráulico dos cursos de água, disponíveis no QUAL2Kw, selecionou-se a equação de Gauclker-Manning-Strickler. Embora exista alguma variabilidade ao longo da ribeira da Lória considerou-se, por simplificação, o mesmo coeficiente de Manning (0,034) ao longo de toda a ribeira.

8 CONCLUSÕES

Em termos gerais, verificou-se que a qualidade da água na ribeira da Lória se encontra bastante degradada. Analisando os resultados obtidos através da aplicação dos dois critérios utilizados (objetivos de qualidade mínima e grelha de usos múltiplos) e das simulações do QUAL2Kw, podemos notar que os principais parâmetros, nomeadamente o CBO₅, CQO, SST, fósforo e coliformes fecais apresentam uma percentagem significativa de valores nas classes de pior qualidade, em termos de poluição.

Os impactes negativos na qualidade da água da ribeira da Lória aumentam significativamente entre a campanha de Janeiro 2010 e as de Abril 2010 e Junho 2010, que são as que apresentam piores indicadores de qualidade da água. Estas variações temporais são influenciadas pelos diferentes níveis de precipitação, radiação solar e temperatura da água e do ar para cada período e que influenciam a concentração dos parâmetros físicos e químicos na qualidade da água.

Verifica-se que os parâmetros da qualidade da água para a ribeira da Lória apresentam variações longitudinais nas três campanhas de amostragem. No entanto, não apresentam uma melhoria significativa nos cursos da ribeira situados entre as descargas das ETARs, demonstrando que as descargas de efluentes poluentes são realizadas antes que a ribeira atinja, através da autodepuração, o estado de total recuperação.

Com base nas simulações e nos quadros resumo das classificações obtidas pelos dois critérios constata-se que as descargas da ETAR de Alcains e das duas de Castelo Branco afetam de uma forma muito negativa a qualidade das águas da ribeira da Lória, provavelmente o tratamento das águas residuais não está a ser totalmente eficaz. Através da observação dos valores obtidos nos pontos de recolha de Alcains é possível admitir a presença de consideráveis fontes de poluição que descarregam na ribeira da Lória e que provavelmente serão de origem industrial. Em consequência, considera-se que as descargas das ETAR de Alcains e de Castelo Branco poderão contribuir de forma significativa para a degradação da qualidade da água do rio Ocreza.

Deste modo, a melhoria da qualidade das águas na ribeira da Lória e no rio Ocreza só será possível se houver um esforço para reduzir a carga poluente das descargas das ETAR e das descargas das indústrias na ribeira da Lória. Outro aspeto a considerar como importante será o controlo das fontes difusas de poluição que não foram avaliadas no presente trabalho.

Para finalizar, salienta-se que o modelo QUAL2Kw, pode ser uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, uma vez que demonstrou ser adequado para a previsão da quase totalidade dos parâmetros da qualidade da água analisados nos três cenários considerados.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seguidamente indicam-se algumas considerações ou sugestões que poderão conduzir ao aperfeiçoamento da metodologia utilizada no presente trabalho:

- 1) Integrar todos os estudos realizados de caracterização dos impactes de descargas de ETAR realizados no âmbito da parceria estabelecida entre a Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco e as Águas do Centro, com o objetivo de caracterizar de uma forma global os impactes das linhas de água avaliadas no rio Ocreza, classificada a respetiva bacia como Zona Sensível;
- 2) Introduzir Estações de monitorização em secções consideradas críticas dos principais efluentes do rio Ocreza;
- 3) Aumentar o número de pontos de recolha na linha de água em estudo de modo a obter o máximo de dados que permitirão aumentar a eficiência das simulações do QUAL2Kw;
- 4) Avaliar as contribuições difusas ao longo das linhas de água;
- 5) Medir os caudais nos pontos de amostragem através de dispositivos apropriados e simultaneamente registar de forma mais rigorosa, a profundidade e secções da linha de água;
- 6) Adaptar o programa Qual2Kw de modo a permitir simular todos os parâmetros de avaliação da qualidade das águas superficiais definidos na legislação em vigor;
- 7) Desenvolvimento de um método ou critério de avaliação da qualidade das águas superficiais, utilizando as sinergias das Instituições de Ensino e Investigação e das Entidades Responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, que seja mais exigente e que permita ser adotado como padrão;
- 8) Sensibilização das Entidades Responsáveis e da sociedade em geral para a importância da melhoria da qualidade da água com base na gestão dos recursos hídricos.

BIBLIOGRAFIA

Agência Portuguesa do Ambiente, Atlas do Ambiente: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>

Albuquerque, António João Carvalho, (1997), Hidráulica Aplicada III - Qualidade da água

Almeida, Pedro Dinis Nunes (2011), Tese mestrado - Caracterização do Impacte das descargas da ETAR de Póvoa de Rio de Moinhos e Caféde no Rio Ocreza.

Azevedo, Rita Teixeira, (2002), Naturlink

Agência Portuguesa do Ambiente, Atlas do Ambiente, <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>

Braga, B., Hespagnol, I., Conejo, J. G. L., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M. Nucci, N., Juliano, N. e Eiger, S., (2002), Introdução à Engenharia Ambiental, São Paulo, SP.

Chow, V. T., (1959), Open Channel Hidraulics, New York, McGraw.

Cortes, R., (2004), Requalificação de Cursos de Água, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Chapra, S.C., (1997), Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill, New York.

Câmara Municipal de Castelo Branco, Diagnostico para a sustentabilidade - Agenda XXI: <http://www.cm-castelobranco.pt/pdf/agendaxxi/agendaxxi.pdf>

Direcção-Geral dos Recursos Naturais - Campanha Educativa da Água - Junho de 1988

Diretiva 2000/60/CE, União Europeia (2000)

Diário da República Portuguesa, pela Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março

Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991

Directiva 98/15/CE da Comissão, de 27 de Fevereiro de 1998

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de Junho

Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de Outubro

Giandotti, Mario, (1953), Considerazioni idrologiche sulle piene del Po, Istituto poligrafico dello Stato

<http://www.usgs.gov/>

INAG - 2010 - <http://www.inag.pt/>

INAG - 1998 - <http://www.inag.pt/>

INAG - 2009 - Critério para a classificação do estado das massas de água superficiais, Rios e Albufeiras

Lança, Teixeira da Costa e Rui (2011), Hidrologia de Superfície

Magalhães, Vanessa Souza, "Hidroquímica e qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG)", Universidade Federal de Minas Gerais, 2006

Oliveira, Nuno Pimenta (2011) - Tese Mestrado - Caracterização do Impacte das Descargas da Etar de Proença-a-Nova na Ribeira da Pracana.

Pita, Fernando Antunes Gaspar, Universidade de Coimbra - 2002

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, (<http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/models/>).

Pelletier, G.J. e Chapra, C.S., (2006), QUAL2K: a Modeling Framework for simulating river and stream water quality: documentation and user manual, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Pelletier, G.J. e 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.

Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro

Sousa, Eduardo Ribeiro (2001), Saneamento Ambiental I- Noções Sobre Qualidade da Água.

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - Dados Sintetizados, dados de precipitação e temperatura do ar.

Santana, Genilson Pereira, (2008), <http://www.cq.ufam.edu.br/>

Von Sperling, M (1995), Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Belo Horizonte - MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Vieira, Judite Santos (2007), Transformações Biogeoquímicas na bacia hidrográfica do rio Lis, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.