



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
Agrária

## Caraterização ambiental e análise de riscos na bacia hidrográfica do rio Águeda



Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro - Florestais  
e Ambientais - Especialização em Análise de Informação Geográfica

**Maria de Fátima Magro Seco**

**Orientadores**

**Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes**

**Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque**

dezembro de 2013



# **Caraterização ambiental e análise de riscos na bacia hidrográfica do rio Águeda**

Maria de Fátima Magro Seco

## **Orientadores**

Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes

Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro - Florestais e Ambientais – Especialização em Análise de Informação Geográfica, realizada sob a 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 e co-orientação científica da Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, Professor Adjunto da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

**dezembro 2013**

A água não tem fronteiras. É um recurso comum que necessita de uma cooperação  
Internacional.  
(Carta Europeia da Água)

## **Composição do júri**

### **Presidente do júri**

Doutora Cristina Maria Martins Alegria

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco

### **Vogais**

Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutor Roberto Martínez-Alegria

Professor na Universidade Europeia Miguel Cervantes, Valladolid (Espanha)



*Aos meus Pais  
À minha Filhota  
Ao meu Marido*

*Com amor e carinho por todo o apoio e incentivo...*



## Agradecimentos

Aos meus Pais por todo o amor, dedicação, esforço, incentivo, ajuda e apoio um muito obrigada, foram incansáveis.

À minha Filhota por todo o amor, força transmitida e companhia!

Ao meu marido por todo o amor, incentivo, apoio, ajuda e força transmitida.

À Professora Doutora Isabel Margarida com carinho, por todo o apoio, ajuda, incentivo, amizade e incansável compreensão na orientação deste trabalho.

À Professora Doutora Teresa Durães por todo o apoio, ajuda, amizade, compreensão na co-orientação deste trabalho.

Ao Hugo Simões por tudo o que me aturou ao longo deste percurso, pela paciência, companhia, ajuda, força transmitida e infundável apoio.

À Elsa Lopes, à Elisabete Roque, à Filipa Caldeira e ao José Tomé pela ajuda, incentivo e amizade prestada ao longo deste percurso.

À Eng<sup>a</sup> Natália, por toda a ajuda, apoio, dedicação e amizade.

À Sandrina por toda a ajuda, apoio, incentivo e cedência de informação.

À Sra. Fátima Graça por todo o apoio, ajuda, dedicação, amizade e incentivo.

Aos restantes colegas de Mestrado pela ajuda, amizade e incentivo que me prestaram ao longo desta caminhada.

Aos restantes que me apoiaram e que tornaram este trabalho possível.

Ao projeto Águeda, que tornou possível a realização deste trabalho e a toda a equipa envolvida no mesmo que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização do mesmo.

*Obrigada...*



Este trabalho foi realizado ao abrigo do Programa Operacional de Cooperação Transfronteiriça Portugal-Espanha: POCTEP Águeda: Caracterización ambiental y análisis de riesgos en cuencas transfronterizas: proyecto piloto en el río Águeda (ref. Proyecto 0410 Águeda 3E).



COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIZA  
ESPAÑA - PORTUGAL  
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIZA



PROJETO  
ÁGUEDA



## Resumo

A água tem uma importância fundamental para a vida, pelo que o seu controlo, independentemente do fim a que se destina, é de extrema importância.

O objetivo do presente trabalho centra-se na identificação dos principais poluentes associados a fontes de contaminação (e.g., vestígios mineiros; atividades humanas, atividades agrícolas e pecuárias) e sua distribuição na bacia transfronteiriça do rio Águeda. O Rio Águeda nasce em Navasfrías (Espanha) e desagua em Barca D'Alva (Portugal). É um curso de água internacional com cerca de 144 Km de extensão, sendo que 44 dos mesmos constitui a fronteira natural entre Portugal e Espanha, inserindo-se na bacia hidrográfica do rio Douro.

A recolha e análise química de amostras de água subterrânea em pontos previamente selecionados, permitiu a construção de mapas representativos da distribuição espacial dos teores e de valores estimados para os elementos potencialmente contaminantes na bacia hidrográfica do rio Águeda, recorrendo a metodologias de estatística multivariada e espacial/geoestatística, em ambiente SIG (ArcMap 10).

Para a realização deste estudo, utilizou-se uma malha de amostragem regular na bacia hidrográfica do rio Águeda, tendo-se selecionado e recolhido 75 pontos (poços), durante o mês de maio de 2012.

Para cada um dos pontos de amostragem foram realizadas análises “*in situ*” com a determinação dos parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica (CE); oxigénio dissolvido (DO); pH; potencial de oxidação-redução (ORP) e temperatura.

Posteriormente, procedeu-se à determinação dos teores de alguns elementos químicos relacionados com atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica do rio Águeda como sejam: arsénio (As), boro (B), bário (Ba), cálcio (Ca), cloretos (Cl), ferro (Fe), fosfatos inorgânicos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) magnésio (Mg), manganês (Mn), sódio (Na) cloreto de sódio (NaCl), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), potássio (K), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), estrôncio (Sr), urânio (U) e sólidos totais dissolvidos (TDS). Estas determinações foram realizadas, no laboratório do Instituto de Recursos Naturais e Agro-biológicos de Salamanca – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IRNASA-CSIC, Salamanca; Espanha).

A avaliação estatística dos resultados obtidos, para as diferentes variáveis analisadas nas águas subterrâneas, permitiu a caracterização das distribuições ulteriormente o ajusto da metodologia geoestatística adequada para a construção de mapas estimados, da bacia hidrográfica do rio Águeda. As metodologias utilizadas incluíram a krigagem, utilizando a ferramenta informática Geostatistical Analyst do software ArcMap10.

Com esta metodologia é possível a identificação das zonas com concentrações mais elevadas, nomeadamente para alguns elementos potencialmente perigosos para a saúde humana, como o arsénio e o urânio. Estas zonas corresponderão a áreas, de

maior vulnerabilidade e perigo, através das quais será possível definir uma rede de monitorização mais adequada.

Os resultados obtidos permitem concluir que é na zona central da bacia hidrográfica do rio Águeda (Ciudad Rodrigo), que ocorrem os teores mais elevados para a maioria dos elementos analisados. Esta zona poderá ser considerada como a mais vulnerável, pela presença de atividades agrícolas, industriais e humanas, e coincidindo com a área de maior densidade populacional. Na zona norte, pode ser identificada alguma vulnerabilidade com possível origem das atividades mineiras desenvolvidas no passado.

## **Palavras chave**

Água Subterrânea; Contaminação; Metodologias Geoestatísticas; Krigagem; Bacia Hidrográfica do Rio Águeda

## Abstract

The water is of fundamental importance to life, so their control, regardless of the intended use, it is of utmost importance.

The objective of the present work focuses on identification of major pollutants associated with sources of contamination (e.g., traces miners; human activities, agricultural and livestock-rearing activities) and their distribution in the transboundary river Águeda watershed. The Águeda River rises in Navasfrías (Spain) and empties in Barca D'alva (Portugal). Is an international watercourse about 144 Km long, with 44 of them constitutes the natural border between Portugal and Spain, inserting themselves in the watershed river Douro.

Collection and chemical analysis of groundwater samples at previously selected points, allowed the construction of maps representing the spatial distribution of the levels and estimated values for elements potentially contaminants in the catchment area of the river Águeda, using multivariate statistical methodologies and spatial/geostatistics, in a GIS (ArcMap 10).

For this study, we used a grid of regular sampling river Águeda watershed, having selected and collected 75 points (wells), during the month of May 2012.

For each of the sampling points analyses were carried out in situ with the determination of physico-chemical parameters: electric conductivity (EC); dissolved oxygen (DO); pH; oxidation-reduction potential (ORP) and temperature.

Later, proceeded to the determination of the levels of some chemical elements related to activities in the catchment area of the river Águeda watershed: arsenic (As), boron (B), barium (Ba), calcium (Ca), chlorides (Cl), iron (Fe), inorganic phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) magnesium (Mg), manganese (Mn), sodium (Na) sodium chloride (NaCl), nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), potassium (K), sulphates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), strontium (Sr), uranium (U) and total dissolved solids (TDS). These determinations were performed in the laboratory of the Institute of natural resources and Agro-biological Salamanca – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC, Salamanca-IRNASA; Spain).

The statistical evaluation of the results obtained for different variables analyzed in groundwater, allowed the characterization of distributions later adjust the methodology appropriate for the construction of geostatistics maps estimated, river Águeda watershed. The methodologies used included the kriging, using the tool Geostatistical Informatics Analyst ArcMap10 software.

With this approach it is possible to identify the areas with highest concentrations, particularly for some elements potentially dangerous for human health, such as arsenic and uranium. These zones will correspond to areas of greater vulnerability and danger, through which will be possible to define a monitoring network.

The obtained results allow to conclude that it is in the central area of the catchment area of the river Águeda watershed (Ciudad Rodrigo), higher levels occurring for most elements analyzed. This area can be regarded as the most vulnerable, by the presence of agricultural, industrial and human activities, and coinciding with the most densely populated area. In the northern zone, can be identified any vulnerability with possible origin of mining activities developed in the past.

## **Keywords**

Groundwater; Contamination; Geostatistical Methodologies; Kriging; River Águeda Watershed.

# Índice geral

1. Introdução .....	1
2. Caracterização biofísica da área de estudo .....	7
2.1. Enquadramento e localização geográfica .....	7
2.2. Hipsometria .....	8
2.3. Geologia .....	11
Exploração mineira na bacia hidrográfica do rio Águeda .....	12
2.4. Climatologia.....	13
2.5. Hidrografia .....	14
2.6. Uso e ocupação do solo .....	18
3. Amostragem e Metodologias .....	20
3.1. Sistema de coordenadas .....	20
3.2. Amostragem .....	21
3.3. Metodologias.....	22
4. Resultados .....	26
4.1. Análise estatística descritiva das águas subterrâneas .....	26
4.2. Análise estatística multivariada das águas subterrâneas .....	30
4.3. Mapas de distribuição .....	33
5. Considerações Finais .....	43
Referências Bibliográficas.....	45
Anexos.....	49
Anexo I- Localização geográfica e delimitação da bacia hidrográfica do rio Águeda .....	51
Anexo II- Modelo digital do terreno para a bacia hidrográfica do rio Águeda .....	57
Anexo III- Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Águeda .....	61
Anexo V- Mapa da rede hidrográfica da bacia hidrográfica do rio Águeda .....	69
Anexo VI- Mapa da ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Águeda (Fonte: Agência Europeia do Ambiente, 2006) .....	73
Anexo VII- Mapa da grelha de amostragem de água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Águeda .....	77
Anexo VIII- Identificação, localização e resultados obtidos nos pontos de água da bacia hidrográfica do rio Águeda .....	81

Anexo IX- Mapas de distribuição espacial de teores, variogramas e mapas de erro selecionados na bacia hidrográfica do rio Águeda .....	87
Anexo X- Mapa do índice DRASTIC pesticida na bacia hidrográfica do rio Águeda (Fonte: Albuquerque et al. 2013).....	113

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> a) Localização geográfica do rio Águeda; b) Delimitação da bacia hidrográfica do rio Águeda PT- Portugal; ES- Espanha .....	8
<b>Figura 2:</b> Modelo digital do terreno para a bacia hidrográfica do rio Águeda.....	9
<b>Figura 3:</b> Curva hipsométrica para a bacia hidrográfica do rio Águeda.....	10
<b>Figura 4:</b> Nascente do rio Águeda.....	10
<b>Figura 5:</b> Planície de Ciudad Rodrigo.....	10
<b>Figura 6:</b> Foz do rio Águeda.....	10
<b>Figura 7:</b> Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Águeda .....	11
<b>Figura 8:</b> Mapa dos registos mineiros na área da bacia hidrográfica do rio Águeda ..	12
<b>Figura 9:</b> Ciclo hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2013. ....	14
<b>Figura 10:</b> Barragem do rio Águeda .....	15
<b>Figura 11:</b> Represa do rio Águeda.....	15
<b>Figura 12:</b> Rede hidrográfica na bacia hidrográfica do rio Águeda.....	16
<b>Figura 13:</b> Perfil longitudinal do rio Águeda .....	16
<b>Figura 14:</b> a) Montanhas do rio Águeda; b) Sopé da serra; c) Planície de Ciudad Rodrigo; d) Arribas no rio Águeda, fronteira natural entre Portugal e Espanha; e) Dossel sobre o rio Águeda.....	17
<b>Figura 15:</b> Mapa de ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Águeda. Fonte: Agência Europeia do Ambiente, 2006. ....	18
<b>Figura 16:</b> Grelha de amostragem de água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Águeda.....	22
<b>Figura 17:</b> Identificação e georreferenciação dos pontos de amostragem de água na bacia hidrográfica do rio Águeda .....	23
<b>Figura 18:</b> Determinação “ <i>in situ</i> ” de parâmetros físico-químicos das águas.....	24
<b>Figura 19:</b> Box Plot das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda, obtidos para os parâmetros: a) As; b) Ba; c) B; d) Ca; e) Cl; f) CE; g) Sr; h) Mn; i) NO <sub>3</sub> -; j) pH; l) SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ; m) U.....	28
<b>Figura 20:</b> Histogramas, obtidos para os parâmetros analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda: a) As; b) Ba; c) B; d) Ca; e) Cl; f) CE; g) Sr; h) Mn; i) NO <sub>3</sub> ; j) pH; l) SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> e m) U.....	29
<b>Figura 21:</b> Projeção espacial dos eixos F1 e F2.....	32
<b>Figura 22:</b> Projeção espacial dos eixos F2 e F4.....	32
<b>Figura 23:</b> Projeção espacial dos eixos F3 e F4.....	32
<b>Figura 24:</b> Imagem Gráfica de um variograma. Fonte: Susana Barbosa,2013. ....	34
<b>Figura 25:</b> Mapa de distribuição do arsénio, do erro e variograma experimental e modelo teórico isótropo ajustado.....	35
<b>Figura 26:</b> Mapa de distribuição do bário, do erro e variograma experimental e modelo teórico isótropo ajustado.....	35
<b>Figura 27:</b> Mapa de distribuição do estrôncio, do erro, variograma experimental e modelo teórico isótropo ajustado.....	36



<b>Figura 28:</b> Mapa de distribuição do urânio, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado .....	36
<b>Figura 29:</b> Mapa de distribuição do cálcio, do erro e variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	37
<b>Figura 30:</b> Mapa de distribuição da condutividade elétrica, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	37
<b>Figura 31:</b> Mapa de distribuição do pH, do erro variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado .....	38
<b>Figura 32:</b> Mapa de distribuição do boro, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	38
<b>Figura 33:</b> Mapa de distribuição dos cloretos, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	39
<b>Figura 34:</b> Mapa de distribuição dos nitratos, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	39
<b>Figura 35:</b> Mapa de distribuição dos sulfatos, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	40
<b>Figura 36:</b> Mapa de distribuição do manganês, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.....	40
<b>Figura 37:</b> Mapa do Índice DRASTIC pesticida na bacia hidrográfica do rio Águeda. Fonte: Albuquerque et al. 2013.....	42

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Parâmetros DRASTIC. Fonte: Aller et al. 1987.....	3
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros DRASTIC pesticida. Fonte: Aller et al. 1987.....	4
<b>Tabela 3:</b> Identificação dos códigos de ocupação do solo e área de ocupação.....	19
<b>Tabela 4:</b> Classes de vulnerabilidade segundo o método DRASTIC pesticida. Fonte: Aller et al. 1987.....	25
<b>Tabela5:</b> Estatística descritiva dos parâmetros analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda .....	27
<b>Tabela 6:</b> Resultados obtidos para os autovalores na ACP.....	30
<b>Tabela 7:</b> Tabela de correlações entre variáveis e fatores obtidos na ACP.....	31



## 1. Introdução

A água é um recurso natural extremamente importante, que se encontra presente em praticamente todas as atividades humanas. Este recurso surgiu no decurso de reações químicas que ocorreram no nosso planeta ao longo das primeiras fases da sua formação, encontrando-se em todo o globo terrestre, ocupando aproximadamente 70% da superfície da Terra (Bragancanet 2013).

Até um passado recente, as necessidades de água tiveram um aumento gradual, acompanhando o lento aumento populacional. Nas últimas décadas, a água está presente em múltiplas atividades, sendo utilizada de forma diversificada e assumindo particular importância no abastecimento doméstico e público, uso agrícola e industrial e na produção de energia elétrica.

Contudo, a expansão industrial promoveu um rápido crescimento da população mundial, bem como, a elevação do nível de vida levando a um incremento da exigência de água na medida em que está associada à expansão urbanística, industrialização, produção de energia elétrica, agricultura e pecuária intensiva.

Todas estas questões assumem ainda, consequências mais acentuadas na medida em que a utilização inadequada deste recurso pode prejudicar a sua qualidade de forma, a que ao ser devolvido ao meio natural é portador de características que lhe são prejudiciais. Como exemplo pode ser destacada a poluição associada aos efluentes domésticos (detergentes), agrícolas (pesticidas e fertilizantes) e industrial (produtos químicos diversificados) (Naturlink 2013), podendo contaminar as águas subterrâneas (aquíferos).

Um aquífero pode ser definido como uma unidade geológica permeável saturada que pode transmitir quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos comuns (Freeze and Cherry 1979).

Segundo a Lei da Água nº58 de 29 de dezembro de 2005: “as águas subterrâneas são todas as águas que se encontram abaixo da superfície do solo na zona saturada e em contato direto com o solo ou com o subsolo” (Diário da República 2005).

Este recurso natural é imprescindível à vida e integridade dos ecossistemas, representando cerca de 95% das reservas de água doce exploráveis no globo (Ribeiro 2009).

As águas subterrâneas apesar de se encontrarem menos expostas aos elementos contaminantes, quando comparadas com as águas superficiais, e tendo em consideração a sua capacidade e características auto-depuradoras, uma vez poluídas podem gerar processos praticamente irreversíveis, sendo a sua descontaminação muito difícil (Ribeiro 2009).

Entre as várias potenciais ameaças de contaminação da água subterrânea podem ser consideradas: uso intensivo de adubos, fertilizantes e pesticidas, em atividades

agrícolas e não agrícolas, ocorrência de resíduos industriais sólidos e líquidos ou de produtos dissolvidos e arrastados por água de infiltração em terrenos muito vulneráveis, deposição de dejetos animais resultantes de atividades agro-pecuárias, construção incorreta de fossas sépticas, utilização de herbicidas e fungicidas, sobreexploração de aquíferos em zonas sensíveis resultando a degradação dos ecossistemas, intrusão marinha e subsidência dos solos (Guerreiro and Pereira 2002).

Na contaminação de origem agrícola ou agro-pecuária em águas subterrâneas pode ser destacada a elevada concentração de nitratos, os quais estão ligados à utilização intensiva de fertilizantes, bem como, à aplicação de estrumes e chorumes e à prática de regadio que provoca também um aumento generalizado de sais e cloretos nas águas (Ribeiro 2009).

A exploração mineira pode ser considerada como uma potencial atividade prejudicial às águas subterrâneas. A maioria das explorações mineiras cessou a sua atividades sem qualquer plano de recuperação ambiental, de forma que os rejeitados permanecem expostos às condições ambientais. A água de escorrência ao atravessar estes detritos dissolve algumas substâncias cuja mobilidade permitirá o seu transporte até às águas subterrâneas. As águas subterrâneas podem ser afetadas e alteradas, prejudicando desta forma todo o ecossistema envolvente e conseqüente alteração dos padrões de qualidade da água, tais como os valores de pH e salinidade, bem como, a sua composição química aumentando os teores de metais pesados, por exemplo de urânio (Ribeiro 2009).

Para além destas fontes de poluição, deve ainda ser considerada a poluição associada às atividades industriais, nomeadamente através do uso excessivo de recursos hídricos diminuindo a sua qualidade e quantidade. As construções de aproveitamento hidráulico, assumem igual importância na qualidade da água uma vez que poderão alterar o seu percurso e o ecossistema associado.

Com as crescentes necessidades de água e a sua limitação quantitativa é obrigatório um planeamento e gestão racional e otimizada para que a mesma seja efetuada adequadamente e com consciencialização de todos (Naturlink 2013).

A vulnerabilidade de um sistema de águas subterrâneas pode ser entendida como a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superficiais do aquífero face à passagem de poluentes, sendo uma propriedade intrínseca do sistema hidrogeológico. A vulnerabilidade intrínseca, pode assim ser definida como sendo a capacidade do aquífero em receber e transmitir substâncias potencialmente contaminantes, no espaço, sob a sua influência ao longo do tempo. Os atributos de que depende são: capacidade de infiltração no meio, o tempo de deslocação da água e/ou contaminante da zona não saturada, da dinâmica do fluxo e da concentração do contaminante. Aos valores de cada uma destas características define a capacidade de atenuação do aquífero.

Vulnerabilidade extrínseca, diz respeito ao impacto que as atividades antropogénicas exercem no sistema aquífero e depende, entre outras, da distribuição do uso do solo.

Na determinação da vulnerabilidade de um sistema aquífero têm sido desenvolvidas diversas metodologias, que incluem a construção de diferentes índices de síntese e a sua ulterior análise, frequentemente pela aplicação de metodologias estatísticas (Guerreiro and Pereira 2002).

Cada grupo de contaminantes pode ser afetado por variadíssimos fatores que incluem o tipo e espessura do solo, as características e espessura da zona não saturada, taxa de recarga, as características do aquífero, entre outros (Guerreiro and Pereira 2002).

A construção de índices de síntese permite considerar conjuntamente a influência de vários fatores que interferem na avaliação da vulnerabilidade do aquífero. O índice “DRASTIC” é uma das metodologias mais utilizadas nesta avaliação, no que respeita a avaliação da vulnerabilidade intrínseca dos sistemas aquíferos (Aller et al. 1987). Este índice é baseado em critérios relacionados diretamente com as características geológicas e hidrogeológicas do sistema aquífero. O índice de vulnerabilidade DRASTIC consiste no somatório da média ponderada de 7 parâmetros (ou indicadores hidrogeológicos) (Tabela 1) de uma determinada área: profundidade da zona não saturada (D); recarga do aquífero (R); material do aquífero (A); tipo de solo (S); topografia (T); influência da zona vadosa (I) e condutividade hidráulica (C).

**Tabela 1:** Parâmetros DRASTIC. Fonte: Aller et al. 1987.

Letra	Significado	Fator de Ponderação
D	profundidade da zona não saturada	5
R	recarga do aquífero	4
A	material do aquífero	3
S	tipo de solo	2
T	topografia	1
I	impacto da zona não saturada	5
C	condutividade hidráulica	3

Uma alternativa ao índice DRASTIC é o DRASTIC Pesticida. Trata-se de uma outra metodologia, baseada na anterior. Para o mesmo conjunto de atributos é atribuída semelhante à definida anteriormente, em que considera a influencia de parâmetros intrínsecos embora ponderando possíveis influências antropogénicas (extrínsecas). O cálculo do índice DRASTIC pesticida é idêntico ao índice DRASTIC, variando apenas os ponderadores dos diferentes atributos (Tabela 2); de forma a enfatizar possíveis influências antropogénicas (vulnerabilidade intrínseca + extrínseca). Esta metodologia foi criada para responder melhor a zonas de agricultura intensiva com utilização de pesticidas e, ainda, a problemática associada à intensa aplicação de sulfatos (Aller et al. 1987).

**Tabela 2:** Parâmetros DRASTIC pesticida. Fonte: Aller et al. 1987.

Letra	Significado	Fator de Ponderação
D	profundidade da zona não saturada	5
R	recarga do aquífero	4
A	material do aquífero	3
S	tipo de solo	5
T	topografia	3
I	impacto da zona não saturada	4
C	condutividade hidráulica	2

A recolha de informação sobre a distribuição geográfica dos recursos minerais, animais, plantas e propriedades desde sempre foi importante para que se obtivesse uma sociedade organizada. Até então, todo este processo de organização era efetuado com recurso a documentos em papel tanto na parte descritiva como na parte de mapeamento, exigindo um elevado período de tempo, bem como, perda de informação na compilação da mesma (Spiazzi 2011).

A análise de riscos é uma ferramenta de extrema importância nas mais diversas atividades humanas. A sua inclusão em qualquer projeto deveria ser obrigatória, uma vez que permite prever a incidência de futuros eventos indesejáveis e, desta forma, funcionar como ferramentas de auxílio à decisão permitindo gestão focada na atenuação dos prejuízos (Scribd 2013).

As metodologias da geoestatística e da estatística espacial permitem o ajuste de modelos, incorporadores da estrutura espaço-temporal dos atributos, permitindo a identificação de zonas de maior risco.

Os métodos geoestatísticos permitem incorporar a estrutura espacial de um atributo no processo de interpolação, na área em estudo, permitindo ainda a quantificação da variância do processo de estimação e a visualização da incerteza local e espacial associada à representação e, desta forma, a aferição da robustez dos

mapas obtidos (Spiazzi 2011). A visualização da incerteza, permite ainda a definição de futuras campanhas de amostragem, permitindo, desta forma, a atualização e melhoramento das representações cartográficas.

Através da aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) é possível obter mapas com rapidez e precisão a partir da atualização das bases de dados, sendo uma ferramenta importante no estudo e identificação de potencialidades a nível dos recursos naturais e ambiente, como seja a conservação e exploração dos recursos hídricos (Valladares and Faria 2004).

A geoestatística surgiu na década de 60, ligada à escola francesa (Matheron 1965), tendo conhecido diferentes fases na sua evolução, nomeadamente nos domínios de aplicação. A geoestatística possibilita o tratamento de dados que possuam algum grau de continuidade, permitindo o seu estudo espacial. A combinação das ferramentas da estatística espacial (disponíveis em SIG) e da geoestatística, permitem um importante conjunto metodológico para a produção de mapas dos atributos associados a um determinado fenómeno (Soares 2006).

O uso de metodologias geoestatísticas, implica uma prévia análise exploratória dos dados, seguindo-se o ajuste dos modelos e técnicas mais adequadas. O estudo variográfico e a definição de modelos teóricos adequados, permitirá um subsequente processo de interpolação espacial fiável. Deste modo, resultam mapas representativos da variabilidade espacial de um determinado parâmetro ou elemento, a partir de amostras georreferenciadas previamente recolhidas (Burrough 1987).

A composição físico-química da água subterrânea é influenciada fortemente por processos de interação água-rocha cuja magnitude depende da natureza dos sistemas aquíferos. Pode-se dizer que a água tem uma composição natural dependente do meio aquífero que a armazena, onde decorrem reações mais ou menos complexas (Guerreiro and Pereira 2002).

As características físico-químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, apresentando uma estreita relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos resultantes das atividades humanas, adquiridos ao longo de seu trajeto. Em áreas industrializadas, é possível encontrar uma forte influência das atividades humanas na composição química das águas. Esta relação é em particular marcante onde predominam os aquíferos do tipo fissural, passíveis de serem facilmente influenciados pelas atividades humanas (Meioambiente 2013). Nas proximidades dos grandes centros urbanos, é frequente a ocorrência de alguns problemas associados à descarga de poluentes provenientes de efluentes líquidos industriais e domésticos, esvaziamento de depósitos de combustível, chorumes provenientes de depósitos de lixo doméstico, descargas gasosas e de material particulado lançado na atmosfera pelas indústrias e veículos motorizados. Nas áreas agrícolas, a composição química da água poderá estar fortemente influenciada pelos



produtos químicos utilizados como sejam: inseticidas, herbicidas, adubos químicos, entre outros (Meioambiente 2013).

O trabalho apresentado desenvolve-se no âmbito do projeto “Caracterización ambiental y análisis de riesgos en cuencas transfronterizas: proyecto piloto en el río Águeda” (ref. Proyecto 0410 Águeda 3E).

Este projeto, delineado numa área transfronteiriça, pretende contribuir para uma melhor articulação do território, baseada na elaboração de planos de atuação e de controlo ambiental comuns. Tem como principais objetivos: a caracterização ambiental e análise de riscos na bacia hidrográfica do rio Águeda; desenvolvimento de ferramentas de análise e diagnóstico ambiental para avaliação de impactos e riscos; definição de metodologias na implementação de modelos de comportamento ambiental; planeamento adequado das atividades desenvolvidas constituindo um projeto piloto para todo o eixo Luso-Espanhol; o desenvolvimento de uma plataforma metodológica de articulação territorial para a tomada de decisões futuras, contribuindo desta forma para uma minimização das barreiras administrativas, facilitando assim a gestão transfronteiriça.

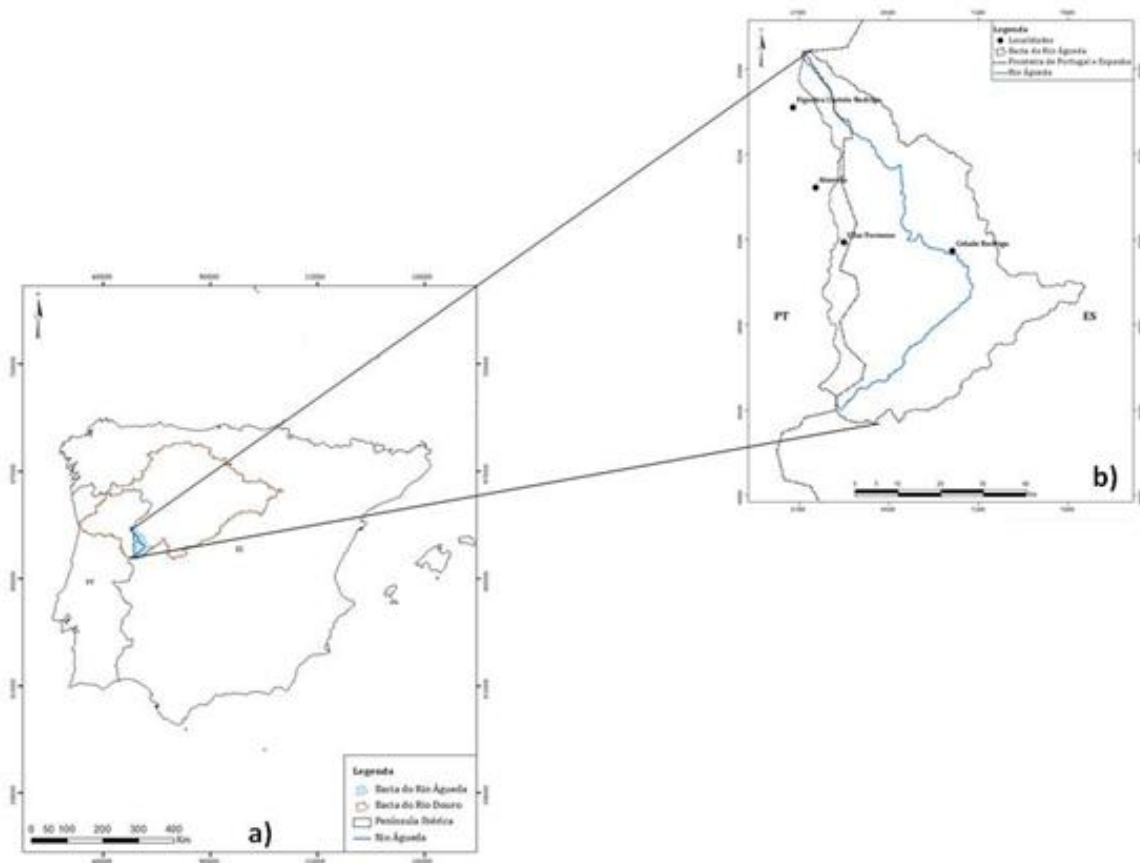
Inserido no projeto Águeda, este trabalho tem como principal objetivo, analisar a distribuição espacial de parâmetros físico-químicos na bacia hidrográfica do rio Águeda, com o recurso a diferentes pontos de água subterrânea (poços). Neste trabalho foram selecionados e analisados os seguintes parâmetros físico-químicos nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda: arsénio, bário, boro, cálcio, cloreto de sódio, cloretos, condutividade elétrica, estrôncio, ferro, fosfatos inorgânicos, magnésio, manganês, nitratos, oxigénio dissolvido, pH, potássio, potencial de oxidação redução, sódio, sólidos totais dissolvidos, sulfatos e urânio. Com a análise e distribuição destes elementos pretende-se identificar qual ou quais as potenciais fontes de contaminação, tendo em consideração as principais atividades desenvolvidas na área em estudo: agrícola, mineira, industrial ou urbana.

## 2. Caraterização biofísica da área de estudo

### 2.1. Enquadramento e localização geográfica

A bacia do Rio Águeda está localizada na zona centro-oeste da Península Ibérica (Fig. 1a; Anexo I), ocupando uma área total com cerca de 2600 Km<sup>2</sup>, que se estende entre as províncias espanholas de Salamanca e Cáceres (2290 Km<sup>2</sup>) e o distrito da Guarda (310 Km<sup>2</sup>) em Portugal Continental.

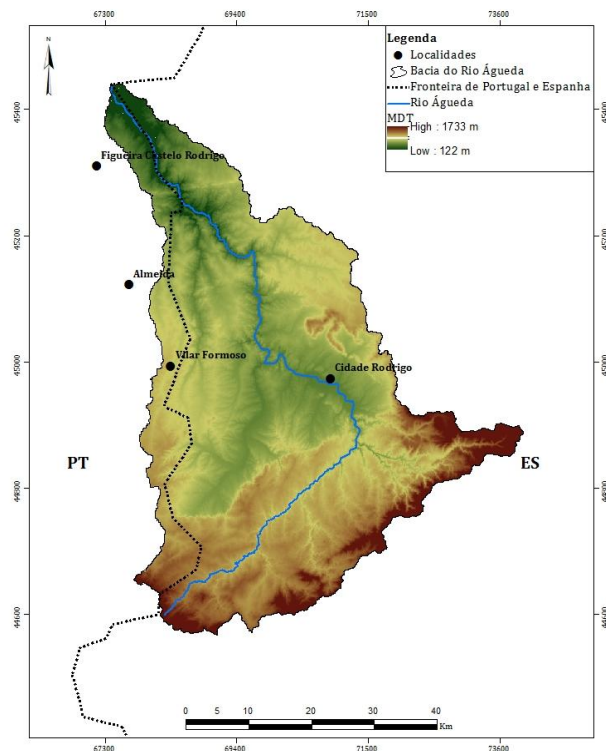
O rio Águeda é um curso de água internacional partilhado por Portugal e Espanha. Tem uma extensão com cerca de 144 km, nasce em Espanha, na Serra das Mesas, perto de Navasfrías e desagua no Rio Douro, em Barca D'Álva (concelho de Figueira de Castelo Rodrigo). Ao longo do seu percurso passa pelo distrito da Guarda, abrangendo os municípios de Almeida (freguesias de Malpartida, Vale de Coelha, Vale da Mula, S. Pedro do Rio Seco, Vilar Formoso, Freineda, Malhada Sorda, Nave de Haver); Sabugal (freguesias da Aldeia da Ribeira, Aldeia da Ponte, Lajeosa, Aldeia do Bispo) e Figueira de Castelo Rodrigo (freguesias de Escalhão, Mata de Lobos, Almofala, Escarigo). Do lado espanhol ficam abrangidas a zona norte da província de Cáceres, Extremadura, (municípios de Acebo, Cadalso, Descargamaría, Eljas, Gata, Robledillo de Gata, San Martín de Trevejo, Santibáñez el Alto y Torre de Don Miguel) e a zona sul da província de Salamanca e, Castela e Leão, municípios de Agallas, Ahigal de los Aceiteros, La Alameda de Gardón, La Alamedilla, La Alberguería de Argañán, Alda del Obispo, La Atalaya, Bañobárez, El Bodón, La Bouza, Campillo de Azaba, Carpio de Azaba, Casillas de Flores, Castillejo de Martín Viejo, Ciudad Rodrigo, La Encina, Espeja, La Fregeneda, Fuenteguinaldo, Fuenteliante, Fuentes de Oñoro, Gallegos de Argañán, Hinojosa de Duero, Ituero de Azaba, Lumbrales, Martiago, Monsagro, Navasfrías, Olmedo de Camaces, Pastores, El Payo, Peñaparda, Puebla de Azaba, Puerto Seguro, La Redonda, Retortillo, Robleda, Saelices el Chico, El Sahugo, San Felices de los Gallegos, Sancti Spiritus, Serradilla del Arroyo, Serradilla del Llano, Sobradillo, Tenebrón, Villar de Argañán, Villar de Ciervo, Villar de la Yegua, Villasrubias y Zamarra Herguijuela). O rio Águeda passa por Ciudad Rodrigo, o principal núcleo populacional da bacia hidrográfica do rio Águeda (Fig. 1b; Anexo I). O rio Águeda é um afluente do rio Douro e constitui a fronteira natural entre Portugal e Espanha, desde a confluência com o rio Tourões até Barca D'Álva (Fig. 1b; Anexo I).



**Figura 1:** a) Localização geográfica do rio Águeda; b) Delimitação da bacia hidrográfica do rio Águeda PT- Portugal; ES- Espanha

## 2.2. Hipsometria

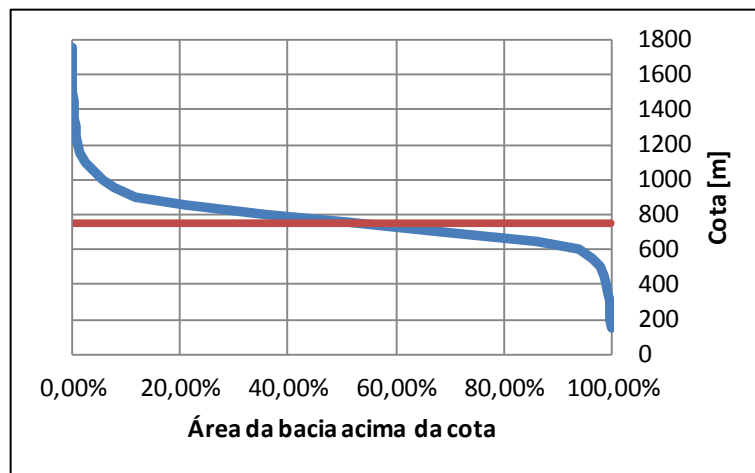
A hipsometria de uma bacia hidrográfica traduz-se na quantificação da sua área por classes de altitude, estabelecendo-se, assim uma distribuição das respetivas frequências altimétricas. A bacia hidrográfica do rio Águeda apresenta uma variação acentuada na sua topografia, entre a nascente e foz, com cotas de 1733 m e 200 m, respetivamente. Porém na zona central (área de Ciudad Rodrigo), ocorre uma altitude intermédia, entre 600 m e 650 m (Fig. 2, Anexo II).



**Figura 2:** Modelo digital do terreno para a bacia hidrográfica do rio Águeda

Tendo por base a Figura 3, a curva hipsométrica do rio Águeda permite identificar três áreas distintas descritas da seguinte forma:

- a zona de declive mais acentuado, coincidente com as cotas topográficas mais elevadas (1000 m a 1733 m), cerca de 20% da área, situa-se na zona a montante da bacia, designada por Alto Águeda. Nesta zona ocorrem rochas graníticas, onde estão localizadas as nascentes dos principais afluentes do rio Águeda (Fig. 4)
- a zona de planície intermédia, caracterizada pela presença de materiais de origem sedimentar e ocupada principalmente por atividades agropecuária; conhecida como planície de Ciudad Rodrigo (Fig. 5), corresponde à área mais representativa com cerca de 60%, e com cotas de 600 m a 1000 m.
- a zona localizada a jusante da bacia hidrográfica representa aproximadamente 20% da área, designada por Baixo Águeda, onde predominam as rochas metamórficas, com o rio Águeda percorrendo vales encaixados, de declive acentuado até à sua foz (Fig. 6).



**Figura 3:** Curva hipsométrica para a bacia hidrográfica do rio Águeda



**Figura 4:** Nascente do rio Águeda



**Figura 5:** Planície de Ciudad Rodrigo

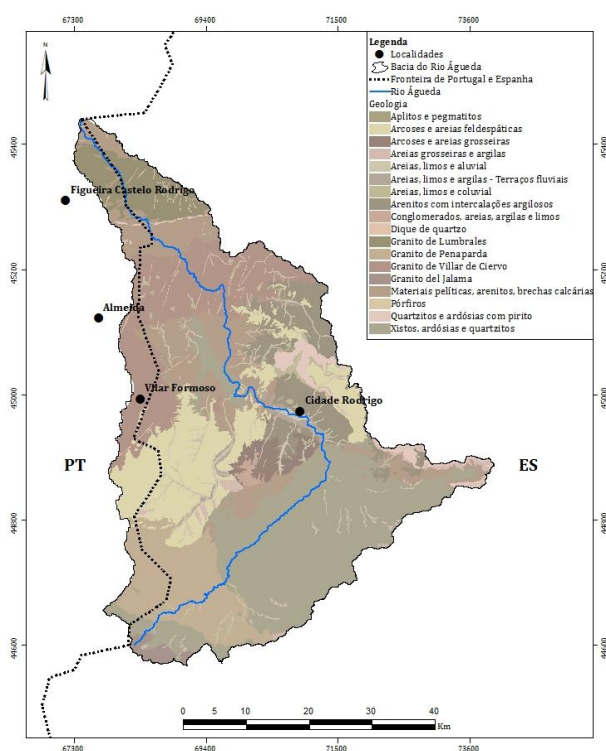


**Figura 6:** Foz do rio Águeda

## 2.3. Geologia

A bacia hidrográfica do rio Águeda situa-se na extremidade ocidental da depressão tectónica de Ciudad Rodrigo. O mapa geológico representado resultou da compilação da carta geológica de Portugal com a carta geológica de Espanha. A nível das principais unidades geotectónicas, distribui-se pela Zona Galaico-Castelhana (ZGC) e pela Zona Centro Ibérica (ZCI), na extremidade centro-oeste do maciço ibérico. Nesta região, dominam as rochas graníticas, em maciço e filonianas, do Devoniano superior. Toda a área está afetada por metamorfismo regional de baixo grau, correspondente a fáceis dos xistos verdes, e junto das rochas graníticas, com metamorfismo de contato, produzido através da sua intrusão nos xistos (Fig. 7; Anexo III). Os materiais detríticos terciários ocorrem distribuídos pela bacia hidrográfica do rio Águeda, destacando-se a planície de Ciudad Rodrigo, com um importante aquífero terciário (Fig. 7; Anexo III) (Sánchez-González et al. 2013).

Os recursos minerais ocorrem distribuídos por toda a bacia hidrográfica estando associados às intrusões graníticas, os minérios de sulfureto e urânio, e os materiais sedimentares, as acumulações detríticas de ferro e elementos associados (Sánchez-González et al. 2013)..

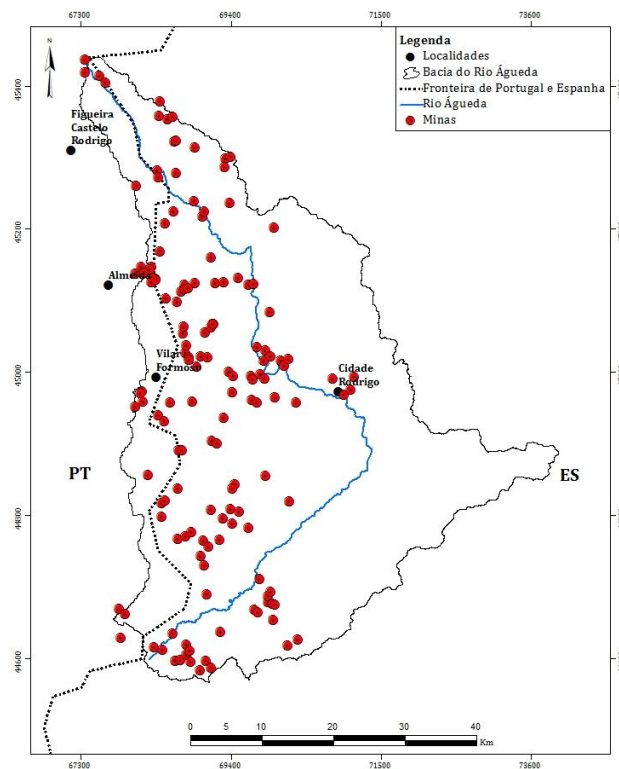


**Figura 7:** Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Águeda

## Exploração mineira na bacia hidrográfica do rio Águeda

As explorações mineiras foram uma das principais atividades humanas na área da bacia hidrográfica do rio Águeda em tempos remotos, encontrando-se distribuídas um pouco por toda a área especialmente a oeste (Fig. 8; Anexo IV), estas foram marcadas pelas explorações de minerais industriais especialmente de urânio (Sánchez-González et al. 2013).

Após o período romano, foi na idade média que a exploração de recursos minerais se tornou mais patente. Atualmente existem registos históricos de atividades mineiras, desde a exploração de chumbo, coleção de ouro aluvionar em Ciudad Rodrigo e o uso de arenito como pedras de pedreira. Durante a era da mineração industrial localizaram-se depósitos de minerais de ferro e aço listados, bem como, minas de estanho, frequentemente associadas com outros metais, continuando assim a exploração de rochas ornamentais, tais como o granito, calcário, arenito e extração de agregados (Sánchez-González et al. 2013). Atualmente a atividade mineira na bacia hidrográfica do Rio Águeda encontra-se abandonada.



**Figura 8:** Mapa dos registos mineiros na área da bacia hidrográfica do rio Águeda

## 2.4. Climatologia

O clima de um determinado local pode ser caracterizado por um conjunto de valores médios, dependentes do intervalo de tempo utilizado, podendo não apresentar idênticos resultados quando comparados espaços temporais diferentes. Neste sentido, é importante dispor de séries completas de dados para se obter um estudo mais detalhado e aprofundado do clima de uma determinada região (IPMA 2013).

Tendo em conta que na área da bacia hidrográfica do rio Águeda estão localizadas quatro estações termo-pluviométrias, com registos heterogéneos relativamente à série temporal, torna-se insuficiente para uma caracterização detalhada. Por este motivo, é apresentada uma caracterização climática com base nos registos de três estações meteorológicas localizadas próximo da bacia hidrográfica. Estes resultados registados, são comparados com outros dados existentes na bibliografia, bem como, com os disponíveis no Instituto Português de Meteorologia e Ambiente (IPMA), (Estévez and Catro 1995, Ninyerola et al. 2005).

Nas estações meteorológicas localizadas em território espanhol, registam-se temperaturas médias anuais variando entre 11,3 ° C (Navasfrías) e 16,0 ° C (La Fregeneda). Em território português, na estação meteorológica da Guarda, regista-se uma temperatura média anual 11,2 ° C, atingindo 38,3 ° C na época estival e -10,8 ° C, no inverno. O índice pluviométrico anual também apresenta uma variação considerável, com 1263 mm de precipitação registado próximo das zonas montanhosas, na parte sul da bacia, e 615 mm nas zonas de cotas topográficas inferiores.

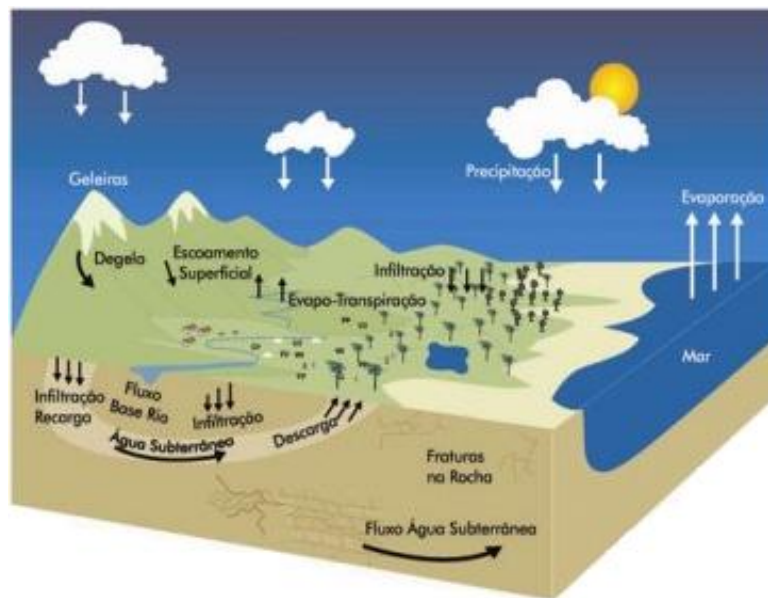
Assim sendo, a bacia hidrográfica do rio Águeda apresenta acentuadas heterogeneidades associadas tanto à diferença de altitude, bem como, ao efeito topográfico das montanhas do sistema Central, na precipitação e circulação atmosférica. A bacia hidrográfica do rio Águeda apresenta um clima tipicamente mediterrâneo (Rebelo 2003).



## 2.5. Hidrografia

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é condicionado principalmente pelas suas características geomorfológicas, rede de drenagem, tipo de solo e cobertura vegetal. Assim sendo, as características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica possuem um papel primordial nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a taxa de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial bem como a qualidade de água (Tonello 2005).

O ciclo hidrológico ou ciclo da água (Fig. 9) representa o movimento contínuo da água entre os oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e a atmosfera. Este movimento é promovido pela força da gravidade e pela energia do Sol, provocando assim a evaporação da água dos oceanos e dos continentes. Na atmosfera, forma as nuvens que, quando carregadas, desencadeiam precipitações, sob a forma de chuva, granizo, orvalho e neve. A água que precipita já circulou no subsolo, rios e oceanos (Ministério do Meio Ambiente 2013).



**Figura 9:** Ciclo hidrológico. Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2013.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação resultante da convergência do escoamento para um único ponto de saída. É composta por um conjunto de superfícies de vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci 1997).

A bacia hidrográfica do rio Águeda, tem uma área com cerca de 2600 km<sup>2</sup>, de forma alongada, em que 16% dessa área ocorre em território português (Fig. 1b). Ao

longo da bacia hidrográfica do rio Águeda, podem ser encontradas várias barragens e represas de água (Fig. 10 e Fig. 11), bem como, várias lagoas e charcas destinadas principalmente a atividades de agro-pecuária. A rede hidrográfica é bastante densa, com diversos afluentes, e uma complexa hierarquia de linhas de água. Os dois principais canais fluviais que desaguam no rio Águeda são o rio Frio e o rio Agadón.

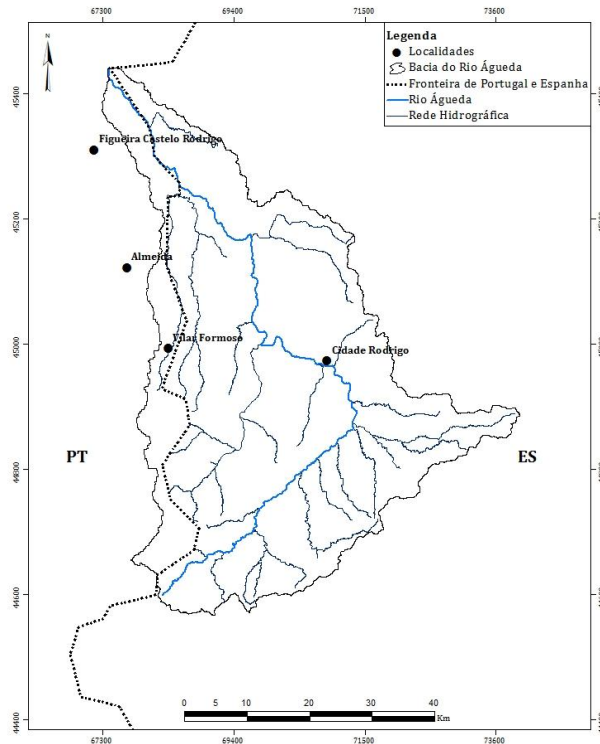


**Figura 10:** Barragem do rio Águeda



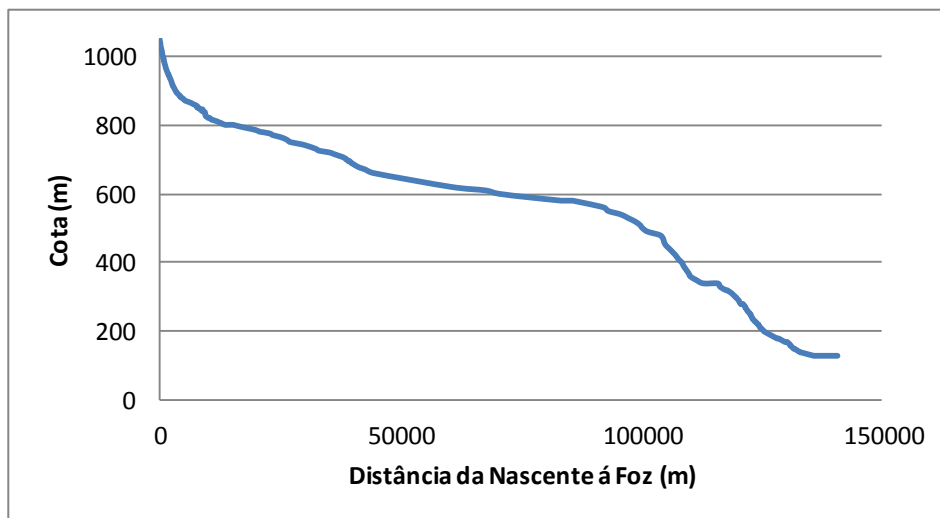
**Figura 11:** Represa do rio Águeda

Ao longo do seu percurso, o rio Águeda apresenta uma trajetória aproximada de sudoeste para nordeste, desde a nascente até Ciudad Rodrigo e infletindo de sudeste para noroeste até desaguar no rio Douro junto a Barca d'Alva (Fig. 12; Anexo V). Tem uma direção de escorrência dominante de sul para norte, sendo um afluente da margem esquerda do rio Douro e correndo numa direção perpendicular às suas margens. O rio Águeda serve assim de fronteira entre os dois países desde Almofala até à sua foz. O rio Águeda e seus afluentes estão encaixados em profundos vales no relevo, principalmente próximo da fronteira entre Portugal e Espanha, representando assim um desnível acentuado de aproximadamente 52%.



**Figura 12:** Rede hidrográfica na bacia hidrográfica do rio Águeda

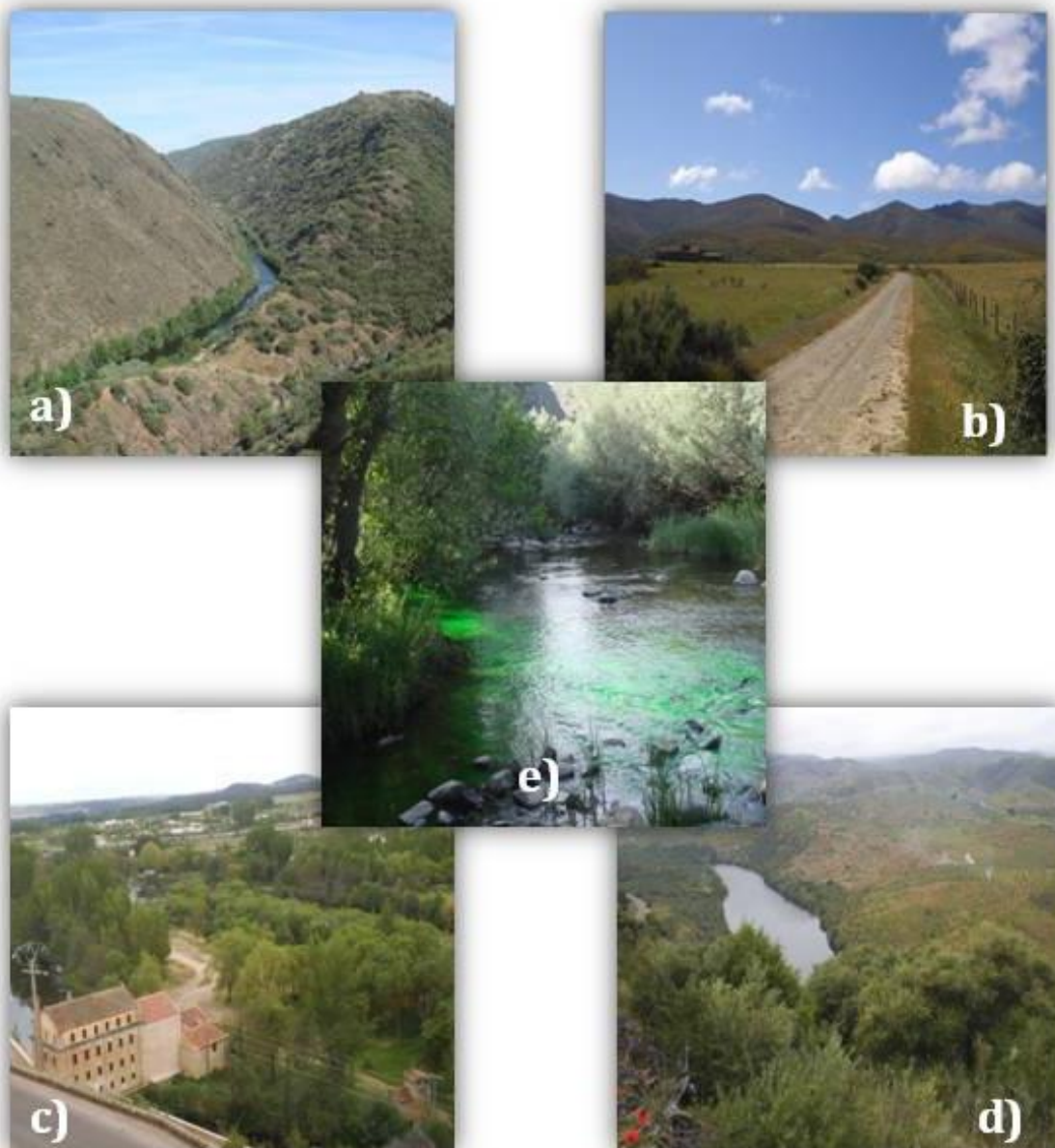
O perfil longitudinal de um curso de água relaciona em cada ponto as cotas do leito com a distância do ponto à foz. Na Figura 13 pode visualizar-se o perfil longitudinal do rio Águeda, sendo nítida a zona aplanada da Ciudad Rodrigo, com uma cota aproximada de 600 m, bem como, as arribas, com cotas mais elevadas, junto da foz e a serra das Mesas à nascente.



**Figura 13:** Perfil longitudinal do rio Águeda

As paisagens encontradas ao longo da bacia hidrográfica do rio Águeda podem ser agrupadas em quatro tipos principais: montanhas (Fig. 14a), sopé da serra (Fig. 14b), depressão de Ciudad Rodrigo (Fig. 14c) e as Arribas (Fig. 14d), com profundos vales encaixados.

Ao longo de todo o seu percurso o rio Águeda apresenta espaços naturais de particular beleza, contando com uma larga heterogeneidade de espécies de fauna e flora, nomeadamente uma grande variedade de plantas, como as espécies ripícolas que formam um dossel sobre o seu leito proporcionando a ocorrência de zonas de particular beleza (Fig. 14e).



**Figura 14:** a) Montanhas do rio Águeda; b) Sopé da serra; c) Planície de Ciudad Rodrigo; d) Arribas no rio Águeda, fronteira natural entre Portugal e Espanha; e) Dossel sobre o rio Águeda



**Tabela 3:** Identificação dos códigos de ocupação do solo e área de ocupação

<b>Cod_06</b>	<b>Descrição</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
111	Tecido urbano contínuo	0,28	0,11
112	Tecido urbano descontínuo	0,52	0,2
121	Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,10	0,04
122	Rede viária e ferroviárias e espaços associados	0,22	0,08
131	Áreas de extração de inertes	0,67	0,26
132	Áreas de deposição de resíduos	0,04	0,01
133	Áreas em construção	0,19	0,07
211	Culturas temporárias de sequeiro	27,01	10,39
212	Culturas temporárias de regadio	2,01	0,77
221	Vinhas	1,15	0,44
222	Pomares	0,85	0,33
223	Olivais	0,38	0,15
231	Pastagens permanentes	1,27	0,49
241	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas	0,13	0,5
242	Sistemas culturais e parcelares complexos	8,13	3,13
243	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	11,61	4,47
244	Sistemas agro-florestais	39,33	15,13
311	Florestas de folhosas	35,07	13,49
312	Florestas de resinosas	12,61	4,85
313	Florestas mistas	1,21	0,47
321	Vegetação herbácea natural	31,46	12,1
322	Matos	6,35	2,44
323	Vegetação esclerofila	47,21	18,16
324	Florestas abertas, cortes e novas plantações	36,22	13,93
332	Rocha nua	0,32	0,12
333	Vegetação esparsa	0,96	0,37
334	Áreas ardidas	0,09	0,03
511	Cursos de água	0,07	0,03
512	Planos de água	0,12	0,05

### 3. Amostragem e Metodologias

#### 3.1. Sistema de coordenadas

Uma das primeiras atividades desenvolvidas neste trabalho consistiu na recolha e compilação de informação relativa à área de estudo, a partir de fontes de dados existentes, tendo por finalidade o desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O sistema de coordenadas adotado foi o sistema de Coordenadas ETRS 89 - European Terrestrial Reference System (ETRS 1989 UTM Zone 29N), Datum ETRS 1989. Este sistema de coordenadas foi introduzido através do Regulamento (UE) N.º 1089/2010 (UE, 2010), que estabelece as disposições de execução da Diretiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu (PE, 2007) relativamente à interoperabilidade do conjunto de serviços respeitantes a dados geográficos, transposta para a legislação portuguesa no Decreto Regulamentar n.º 10/2009 (Diário da República 2009).

Tratando-se de um trabalho conjunto entre Portugal e Espanha, tornou-se necessário proceder a uma tarefa adicional de compatibilização e uniformização do sistema de coordenadas para toda a informação disponível, em que no território português se encontrava no sistema de coordenadas Lisboa Hayford\_Gauss\_IGeoE (Portugal). Inicialmente procedeu-se à transformação direta entre o sistema de coordenadas “Lisboa\_Hayford\_Gauss\_IGeoE” para “Espanha-ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N”, mas como se verificaram alguns desfasamentos consideráveis, a mesma foi realizada em duas transformações sequenciais, ou seja:

- 1º “Lisboa\_Hayford\_Gauss\_IGeoE”  $\Rightarrow$  “WGS\_1984\_World Mercator”  
 2º “WGS\_1984\_World Mercator”  $\Rightarrow$  “Espanha-ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N”

Com esta transformação de coordenadas obtém-se uma georreferenciação coerente para toda a bacia hidrográfica do rio Águeda.

### 3.2. Amostragem

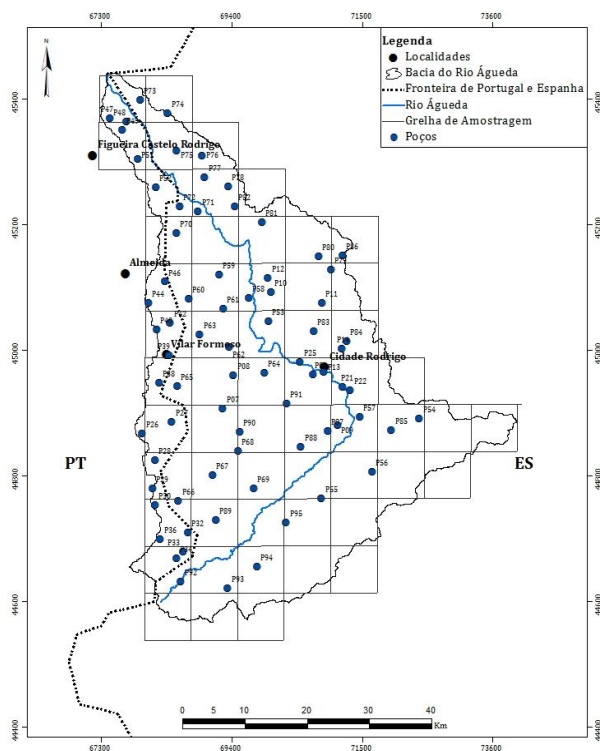
A amostragem de uma determinada área, ou volume, refere-se ao processo de recolha de informação tópica e discreta, representativa da área, ou volume, e que se pretende estimar em contínuo (ISA 2013).

O desenho da amostragem é um dos passos mais importantes, quando se pretende aplicar metodologias estatísticas na construção de cartas. O desenho da rede de amostragem adotado, permitiu assegurar: a construção de mapas, recorrendo a metodologias geoestatísticas e desta forma caraterizar a incerteza espacial e local, associada ao processo de interpolação. A avaliação da distribuição da incerteza permitirá aferir a robustez da representação obtida e ainda, a correção do desenho de amostragem para futuras campanhas de amostragem, visando sempre otimização da cartografia obtida.

Numa primeira fase do trabalho, em gabinete, procedeu-se à definição da rede de amostragem de pontos de água subterrânea na área da bacia hidrográfica do rio Águeda. Foi sobreposta, à área em estudo, uma malha quadrada e recolhidos, sempre que possível, dois poços, no interior de cada célula. Desta forma, foi possível caraterizar a estrutura espacial, para os atributos em estudo, para diferentes unidades de distância – curta, média e grande - e incorporar essa informação na subsequente interpolação, para toda a área em estudo - bacia hidrográfica do rio Águeda.

Foram selecionados e recolhidas amostras de água em 75 pontos (poços), numa rede com uma quadrícula equidistante de 7,5 km (Fig. 16; Anexo VII). A recolha de amostras decorreu durante o mês de maio de 2012.





**Figura 16:** Grelha de amostragem de água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Águeda

### 3.3. Metodologias

Após definida a rede de amostragem, foram realizados trabalhos de reconhecimento da área em estudo, recorrendo, numa primeira fase em gabinete, a partir da análise dos ortofotomapas da área e depois pelo reconhecimento em campo, com a identificação, caracterização e localização geográfica dos pontos de amostragem, utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS) para georreferenciação (Fig. 17).



**Figura 17:** Identificação e georreferenciação dos pontos de amostragem de água na bacia hidrográfica do rio Águeda

Em cada um dos 75 pontos selecionados, procedeu-se à recolha da amostra de água respetiva, com a determinação *in situ* dos principais parâmetros físico-químicos: oxigénio dissolvido (DO), pH, potencial de oxidação-redução (ORP), condutividade elétrica (CE) e temperatura (Fig. 18). Ulteriormente, as amostras de água recolhidas foram acondicionadas e transportadas para os laboratórios do Instituto de Recursos Naturais e Agro-Biologia (IRNASA - CSIC) de Salamanca (Espanha). Neste laboratório foram determinados os teores de arsénio (As), boro (B), bário (Ba), cálcio (Ca), cloretos (Cl), ferro (Fe), fosfatos inorgânicos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) magnésio (Mg), manganês (Mn), sódio (Na) cloreto de sódio (NaCl), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), potássio (K), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), estrôncio (Sr), urânio (U) e sólidos totais dissolvidos (TDS) (Anexo VII). As técnicas analíticas incluíram a cromatografia iónica (aniões), plasma indutivo, acoplado de massas (metais e urânio) e absorção atómica (arsénio).



**Figura 18:** Determinação “*in situ*” de parâmetros físico-químicos das águas

Numa primeira fase, e após obtidos os resultados físico-químicos das águas subterrâneas selecionadas, procedeu-se à sua análise estatística univariada descritiva, com o cálculo de parâmetros descritivos de tendência central e de dispersão (valores mínimos, máximos, 1º quartil, mediana, 3º quartil, média, variância, desvio padrão, assimetria e curtose), bem como, as suas representações gráficas (histogramas e box plot), de forma a poder identificar valores anómalos e/ou assimetrias nas distribuições das variáveis em análise.

No passo seguinte procedeu-se a uma avaliação estatística multivariada de forma a poder avaliar as relações de dependência entre parâmetros medidos, bem como, a sua relação com os diferentes pontos amostrados (poços). Dado que todos os atributos em estudo, são quantitativos e contínuos, optou-se pela Análise em Componentes Principais (ACP), recorrendo ao software XLStat. Esta metodologia permite a construção de um novo conjunto de variáveis não correlacionadas e de síntese das variáveis de partida, designadas por Componentes Principais (Mingoti 2005).

Estes novos fatores de síntese podem ser, considerados como variáveis regionalizadas, verificando-se a aditividade (Matheron 1965), e desta forma admitindo a construção de variogramas e ulterior interpolação por krigagem. Os mapas estimados para a distribuição espacial, dos novos fatores de síntese, foram obtidos pelo método de krigagem gaussiana, tendo-se aplicado a técnica de transformação – (Saito and Goovaerts 2000) no processo de interpolação, de forma a atenuar o peso dos valores anómalos identificados. O software utilizado foi geostatistical Analyst (ArcMap versão 10).

Os mapas obtidos permitem identificar as áreas de maior concentração para cada um dos atributos em estudo, bem como identificar possíveis fontes de contaminação.

Os mapas estimados obtidos por krigagem foram, convertidos para o formato raster 400 pixel, calculado pela ferramenta *Grid Size Calculator* desenvolvido por Hengl (2006), permitindo assim um maior rigor na qualidade da imagem final.

Por fim, realizou-se a comparação dos resultados obtidos na krigagem, com o mapa de índice DRASTIC pesticida (Albuquerque et al. 2013), com o intuito de localizar mais facilmente as zonas com agricultura intensiva, bem como, verificar se existe sobreposição de zonas vulneráveis com as zonas teores mais elevados.

O índice de DRASTIC pesticidas apresenta-se em cinco classes diferentes de vulnerabilidade, conforme tabela seguinte:

**Tabela 4:** Classes de vulnerabilidade segundo o método DRASTIC pesticida.  
Fonte: Aller et al. 1987.

Vulnerabilidade	Índice DRASTIC	Cor
Baixa	<79	Violeta
	80-99	Índigo
	100-119	Azul
Intermédia	120-139	Verde Escuro
	140-159	Verde claro
Elevada	160-179	Amarelo
	180-199	Laranja
Muito Elevada	>200	Verme lho

## 4. Resultados

### 4.1. Análise estatística descritiva das águas subterrâneas

De acordo com os resultados obtidos para as amostras de água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Águeda, é possível constatar uma grande heterogeneidade dos dados em todos os parâmetros analisados (Tabela 5). Os parâmetros CE, ORP, TDS,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Mg, As e Ca destacam-se por apresentarem um valor elevado da variância evidenciando a considerável dispersão. Contudo, todos os parâmetros restantes, excetuando o pH, apresentam comportamento semelhante, ou seja uma distribuição idêntica, como se pode verificar na Tabela 5. Todos os elementos contam com uma curtose positiva, bem como, a assimetria negativa que está presente em todos os parâmetros, com exceção do pH o qual se pode considerar simétrico. Os dados apresentam alguns outliers, nomeadamente para os teores de CE, NaCl, ORP, TDS, Cl,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , As, Ca, K, Mg, Na e U. Verifica-se também que existem dois dos poços, o nº 73 e o nº8, que poderão estar mais poluídos, contando com mais valores de parâmetros em outliers. No poço nº73 registam-se os valores mais elevados, para os seguintes parâmetros: 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE; 678,0 mg/L de NaCl; 879,0 mg/L de TDS; 0,117 mg/L de Ba; 89,01 mg/L de Ca; 31,86 mg/L de Mg e 0,807 mg/L de Sr (Tabela 5). Este ponto de amostragem, encontra-se na zona norte da bacia hidrográfica do rio Águeda (Fig. 16; Anexo VII), podendo ser justificado com a fonte de contaminação de natureza mineira, pois coincide com uma área onde existiu atividade mineira no passado (Fig. 16; Anexo VII e Fig. 8; Anexo IV). O poço nº8 localizado no centro da bacia hidrográfica do rio Águeda, na zona da planície de Ciudad Rodrigo, regista os valores mais elevados de As, B e Na, com 680,06  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 0,282 mg/L e 47,60 mg/L respetivamente, (Tabela 5 e Fig. 16; Anexo VII), podendo ser justificado pelas atividades humanas desenvolvidas na área.

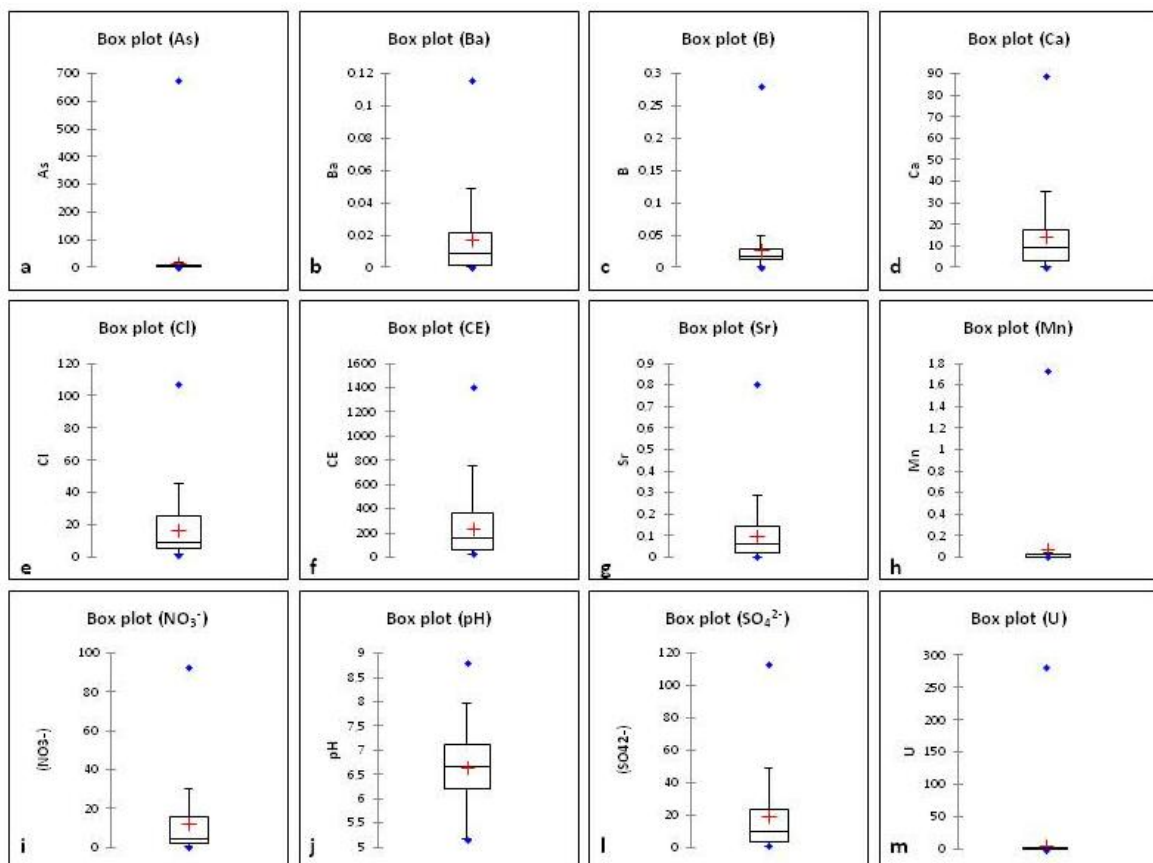
Considerando a possível influência dos outliers, e evitando eliminar valores que podem ser importantes, revelando anomalias reais, optou-se por manter todos os dados e ajustar metodologias que permitam o atenuamento do seu impacto na distribuição em estudo.

**Tabela5: Estatística descritiva dos parâmetros analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda**

Estatística	pH	CE	NaCl	ORP	DO	TDS	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	As	B	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	U
Unidades	*	µS/cm	mg/L	mV	%	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L
Mínimo	5,17	25,5	-	-190,1	2,1	16,0	1,4	0,11	-	0,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máximo	8,83	1400,0	678,0	332,0	20,2	879,0	107,5	93,01	14,65	113,22	680,06	0,282	0,117	89,01	1,76	41,20	31,86	1,726	47,60	0,807	282,40
1º Quartil	6,22	63,2	28,9	201,5	4,0	39,8	5,3	2,24	0,04	3,43	2,15	0,012	0,002	2,81	-	0,51	0,92	-	4,66	0,024	0,10
Mediana	6,67	161,2	71,0	231,0	5,1	102,6	8,8	4,21	0,15	9,78	5,01	0,016	0,008	8,92	-	1,17	3,68	0,003	6,57	0,063	0,40
3º Quartil	7,11	359,5	166,9	264,0	6,6	230,0	25,2	15,52	0,31	23,73	9,16	0,028	0,021	17,27	0,01	3,14	8,43	0,020	11,50	0,142	1,45
Média	6,66	237,8	111,3	185,2	5,54	152,0	16,7	12,70	0,76	19,74	18,11	0,027	0,018	14,58	0,03	3,97	5,87	0,070	10,19	0,100	5,39
Variância (n-1)	0,46	54550,8	12967,8	19213,0	7,0	22057,0	343,8	390,14	4,81	659,61	6234,54	0,001	0,001	291,59	0,04	59,36	44,80	0,062	90,89	0,014	1059,89
Desvio-padrão (n-1)	0,68	233,6	113,9	138,6	2,7	148,5	18,5	19,75	2,19	25,68	78,96	0,038	0,026	17,08	0,20	7,71	6,69	0,249	9,53	0,118	32,56
Assimetria (Pearson)	0,14	2,2	2,2	-1,8	2,9	2,1	2,4	2,68	4,80	2,15	8,03	4,585	2,323	2,06	8,40	3,24	1,93	5,052	2,22	3,233	8,38
Curtose (Pearson)	0,41	7,0	7,1	1,7	13,0	6,5	7,3	7,06	24,50	4,29	64,67	26,335	4,978	4,69	69,02	10,65	4,01	27,275	5,03	15,195	68,79

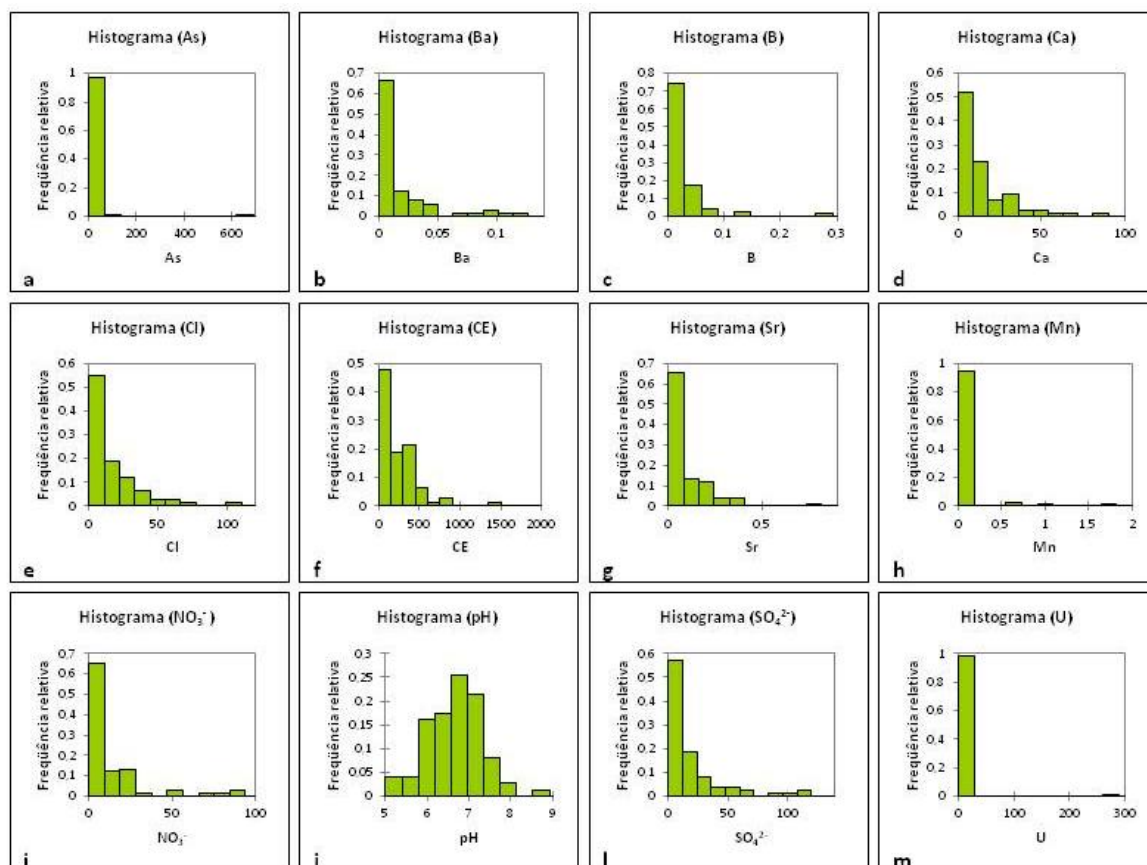
\* Escala de Sorense; - Limite de deteção do método

Os Box Plot, definem a distribuição dos quartis para um determinado parâmetro ou concentração, permitindo assim efetuar uma análise gráfica da variabilidade da amostra. A caixa estende-se do 1º Quartil até ao 3º Quartil, permitindo a visualização da variabilidade dos dados que constituem os 50% centrais na distribuição. Os outliers encontram-se projetados acima ou abaixo dos extremos, calculados como: limite mínimo =  $Q1 - 1,5 * (Q1 - Q3)$  e limite máximo =  $Q3 + 1,5 * (Q1 - Q3)$ . Onde Q1 e Q3 representam o primeiro e o terceiro quartil respetivamente. Na Figura 19, podem ser visualizados os Box Plot dos parâmetros em estudo. Os parâmetros físico-químicos analisados, confirmam a simetria do parâmetro pH. Para os parâmetros Ba, B, Ca, Cl, CE, Sr,  $NO_3^-$  e  $SO_4^{2-}$ , os outliers são significativos, bem como, a presença de alguma assimetria da amostra uma vez que a maior parte dos valores tendem mais para os valores mínimos, bem como, a ausência de assimetria bastante evidenciada, uma vez que mais de 50% dos valores de cada parâmetro se encontra abaixo da média. Os parâmetros As, Mn e U revelam distribuições idênticas o que poderá ter como justificação a ocorrência de antigas minas na área da bacia hidrográfica do rio Águeda, e a relação entre a distribuição espacial destes atributos e atividade mineira.



**Figura 19:** Box Plot das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda, obtidos para os parâmetros: a) As; b) Ba; c) B; d) Ca; e) Cl; f) CE; g) Sr; h) Mn; i)  $NO_3^-$ ; j) pH; l)  $SO_4^{2-}$ ; m) U.

O histograma é uma representação gráfica das frequências de uma determinada variável, permitindo a avaliação das distribuições e sua visualização (Pestana and Gageiro 2003). Pode concluir-se que a maioria dos parâmetros analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda revela uma distribuição semelhante, apresentando assimetrias negativas (Fig. 20).



**Figura 20:** Histogramas, obtidos para os parâmetros analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda: a) As; b) Ba; c) B; d) Ca; e) Cl; f) CE; g) Sr; h) Mn; i) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; j) pH; l) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e m) U.



## 4.2. Análise estatística multivariada das águas subterrâneas

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada com os parâmetros físico-químicos analisados nas águas subterrâneas do rio Águeda. De forma a obter dados padronizados, diminuindo o peso dos valores anómalos, selecionou-se a técnica de Spearman. Realizada a ACP, verificou-se que para os parâmetros CE, Fe, Nacl e TDS existe uma sobreposição, ou seja ambos apresentam um comportamento idêntico, pelo que se optou a exclusão do estudo dos parâmetros Fe, Nacl e TDS, ficando a CE na sua representação, assim sendo ao longo do trabalho ao mencionar-se a CE está a referenciar-se também os parâmetros mencionados anteriormente. Os resultados obtidos indicam que, a maioria dos parâmetros são explicados nos quatro primeiros eixos fatoriais, ou seja até F4, com cerca de 75% de variância explicada (Tabela 6).

**Tabela 6:** Resultados obtidos para os autovalores na ACP

	F1	F2	F3	F4	F5
<b>Autovalor</b>	10,783	2,077	1,620	1,166	0,929
<b>Variabilidade (%)</b>	51,346	9,890	7,715	5,554	4,422
<b>% acumulada</b>	51,346	61,236	68,951	74,505	78,927

Da análise dos eixos F1, F2, F3 e F4 (Tabela 7), verifica-se que o:

- Eixo fatorial 1 (F1): explica a associação entre pH, CE, Cl, ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), B, Ba, Ca, K, Mg, Na, Sr e U, bem como o (-ORP) que apresenta uma correlação inversa com os outros atributos. O eixo 1, o mais importante, representa 51,35% da variância total;

-Eixo fatorial 2 (F2): explica a associação entre Mn e (-DO), ( $-\text{NO}_3^-$ ). Mn está relacionado com o ( $\text{NO}_3^-$ ) e com o DO mas de forma inversa ou seja, aumenta o Mn diminui o  $\text{NO}_3^-$  e o DO ou vice-versa. O eixo 2 representa, 9,9% da variância total;

-Eixo fatorial 3 (F3): explica a distribuição do  $\text{PO}_4^{3-}$ . O eixo 3 explica 7,72% da variância total.

-Eixo fatorial 4 (F4): explica o As e consome 5,55% da variância.

**Tabela 7:** Tabela de correlações entre variáveis e fatores obtidos na ACP

Parâmetros	F1	F2	F3	F4
pH	0,663	-0,182	-0,453	0,220
CE	0,952	0,043	-0,085	-0,076
ORP	-0,635	0,257	0,589	-0,169
DO	-0,217	-0,797	0,076	0,061
Cl	0,848	0,257	0,117	-0,125
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,369	-0,590	0,427	-0,289
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,332	-0,125	0,772	0,189
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,740	-0,181	-0,189	-0,259
As	0,453	0,063	0,186	0,690
B	0,679	0,304	0,172	0,045
Ba	0,785	-0,016	0,123	-0,076
Ca	0,946	-0,087	-0,014	-0,078
K	0,716	0,154	0,316	-0,158
Mg	0,913	-0,123	-0,105	-0,190
Mn	-0,117	0,803	-0,036	-0,170
Na	0,881	0,209	0,040	-0,037
Sr	0,947	-0,048	-0,090	-0,040
U	0,606	0,104	0,049	0,497

Pode concluir-se que o plano fatorial 1 é representado na sua maioria por elementos, como por exemplo os sulfatos, que poderão ter como fonte de contaminação proveniente das atividades agrícolas e humanas desenvolvidas na área da bacia hidrográfica do rio Águeda. No plano fatorial 2 e 3 destacam-se as atividades ligadas á agricultura onde está presente a explicação dos nitratos, responsáveis pela maior parte das contaminações resultantes dos dejetos animais e pesticidas.

Perante as projeções nos planos bidimensionais seguintes, podemos verificar que para o F1-F2 (Fig. 21), os resultados são muito idênticos aos obtidos na tabela de correlações das variáveis, ou seja os elementos representados espacialmente apresentam uma agregação muito idêntica coincidindo quase na sua totalidade.

Na projeção dos planos fatoriais F2-F4 e F3-F4, o As e o U, apesar de não serem explicados no mesmo eixo fatorial (Tabela 7), encontram-se relacionados espacialmente, estando representados no mesmo plano fatorial, em F2 e F3 respetivamente (Fig. 22 e 23). A ocorrência destes dois elementos poderá estar associada com as atividades mineiras existentes na área.

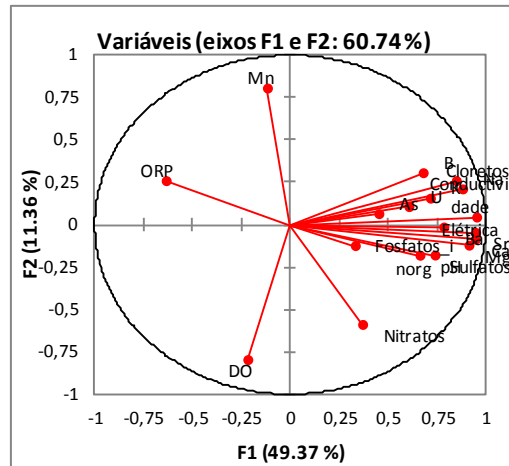


Figura 21: Projeção espacial dos eixos F1 e F2

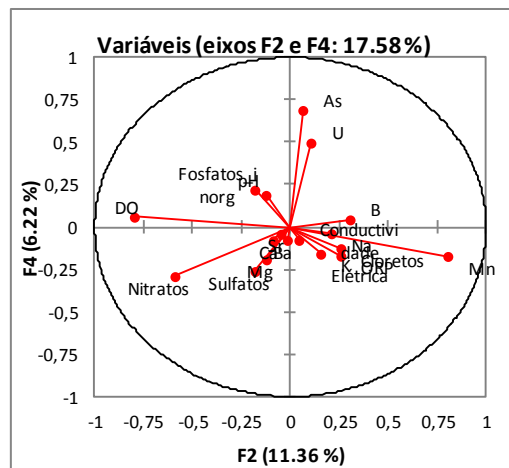


Figura 22: Projeção espacial dos eixos F2 e F4

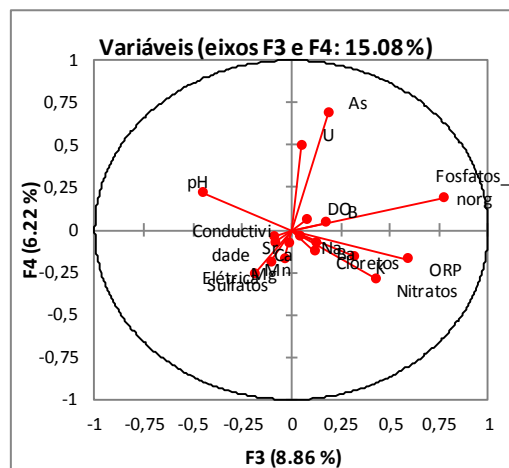


Figura 23: Projeção espacial dos eixos F3 e F4

### 4.3. Mapas de distribuição

A descrição dos dados espacialmente é a visualização de como o atributo se dissipa no espaço (Soares 2006), para completar esta visualização pode analisar-se o comportamento dos mesmos através do grafismo representado no variograma.

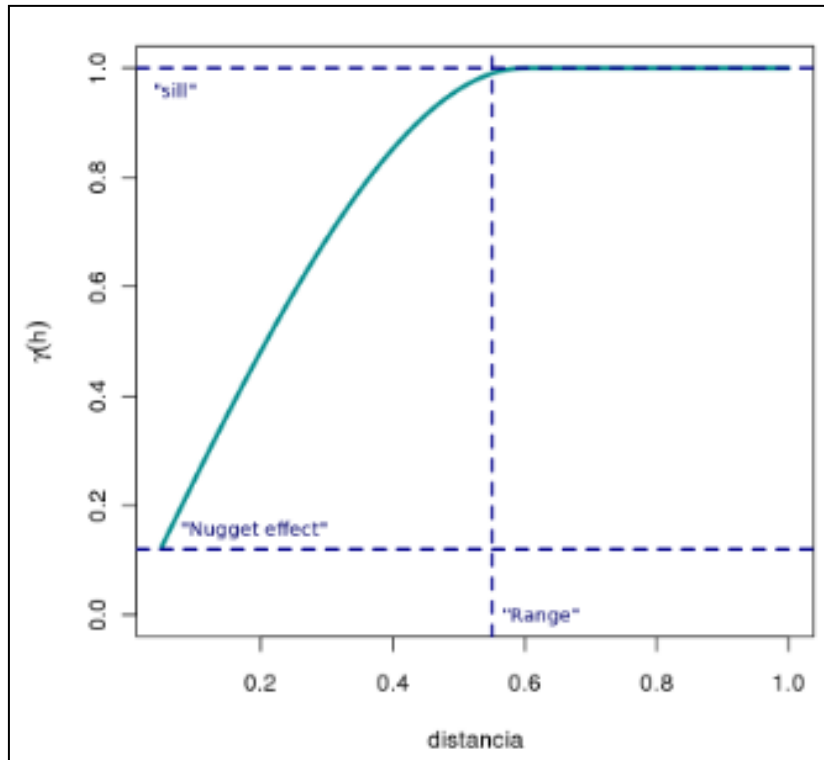
O variograma é uma função intrínseca que mostra a estrutura do fenómeno estudado, quantificando as relações estatísticas pela covariância que existe entre as amostras espaçadas de sucessivos valores de  $h$ . É uma função crescente até um determinado valor  $h$  denominado, como amplitude e representando a distância até onde a variável apresenta estrutura espacial, ou seja, apresenta autocorrelação espacial (Andriotti 1989). A partir desta distância o comportamento da variável é predominantemente aleatório, implicando uma incerteza local, associada à interpolação desaconselhável.

O variograma sintetiza a estrutura espacial, numa determinada direção, para cada um dos atributos, podendo ser explicado através da seguinte fórmula:

$$y(h) = \frac{1}{2N_n} \sum_{i=1}^{N_n} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

Em que,  $N_n$  representa o número de pares de valores separados entre si por uma distância  $|h|$  ao longo da direção escolhida,  $|h|$  é a distância,  $(x_i)$  identifica a localização espacial e  $Z$  representa o valor da variável na localização  $(x_i)$  (Andriotti 1989) (Fig. 24).

No presente estudo foram ajustados variogramas omnidirecionais, uma vez que não foi possível captar possíveis anisotropias. Desta forma, considerou-se, para todos os atributos em estudo, um comportamento isótropo, na área em estudo embora, de acordo com os mapas de distribuição dos teores dos parâmetros físico-químicos analisados na bacia hidrográfica do rio Águeda, se verificasse elevada heterogeneidade na distribuição das concentrações.



**Figura 24:** Imagem Gráfica de um variograma. Fonte: Susana Barbosa,2013.

De um modo geral, a zona onde as maiores concentrações se encontram coincide com a parte central da bacia hidrográfica do rio Águeda (Ciudad Rodrigo) para todos os parâmetros físico-químicos analisados. Na zona norte e sul ocorrem áreas com valores intermédios a elevados.

De salientar que os mapas de distribuição com maiores teores se encontram concentrados na parte central do aquífero terciário de Ciudad Rodrigo e correspondem aos mapas de distribuição dos elementos: As, Ba, Sr e U (Fig. 25, 26, 27 e 28; Anexo IX).

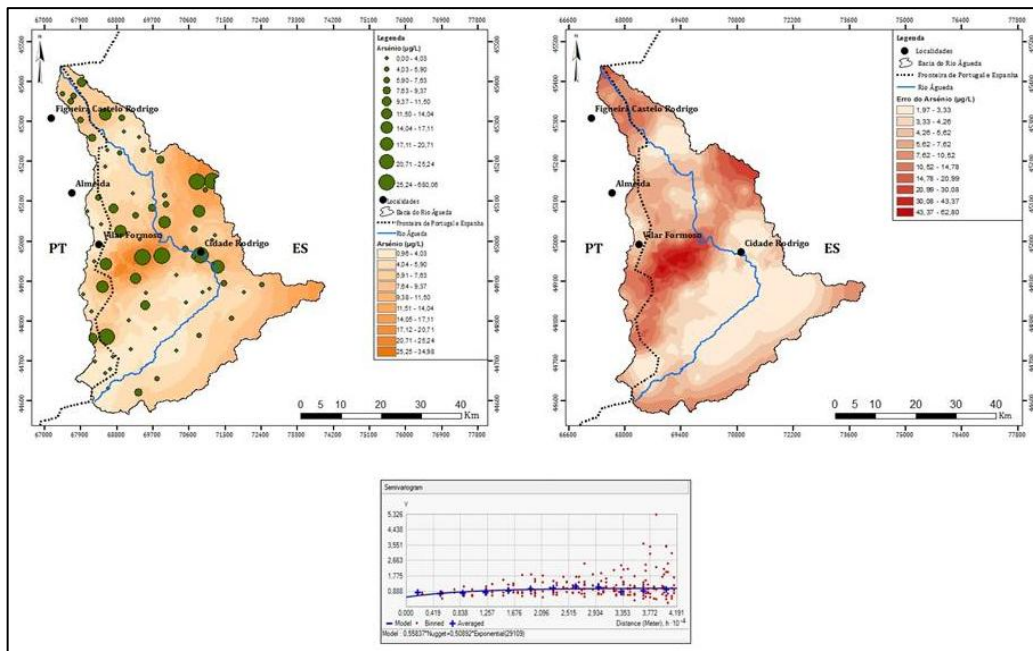


Figura 25: Mapa de distribuição do arsénio, do erro e variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

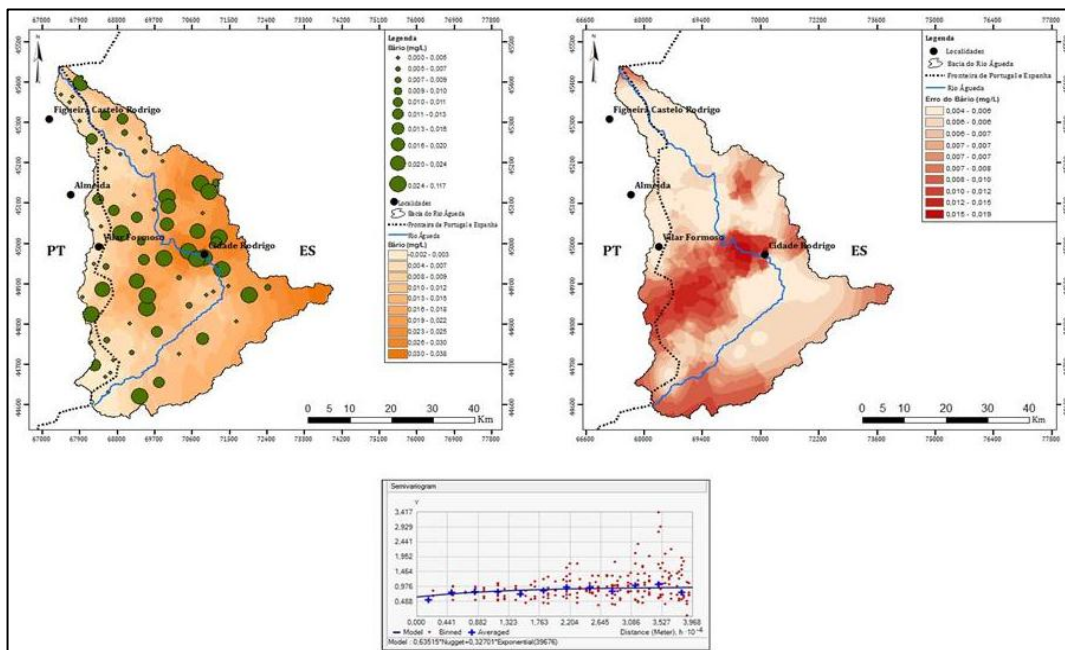


Figura 26: Mapa de distribuição do bário, do erro e variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

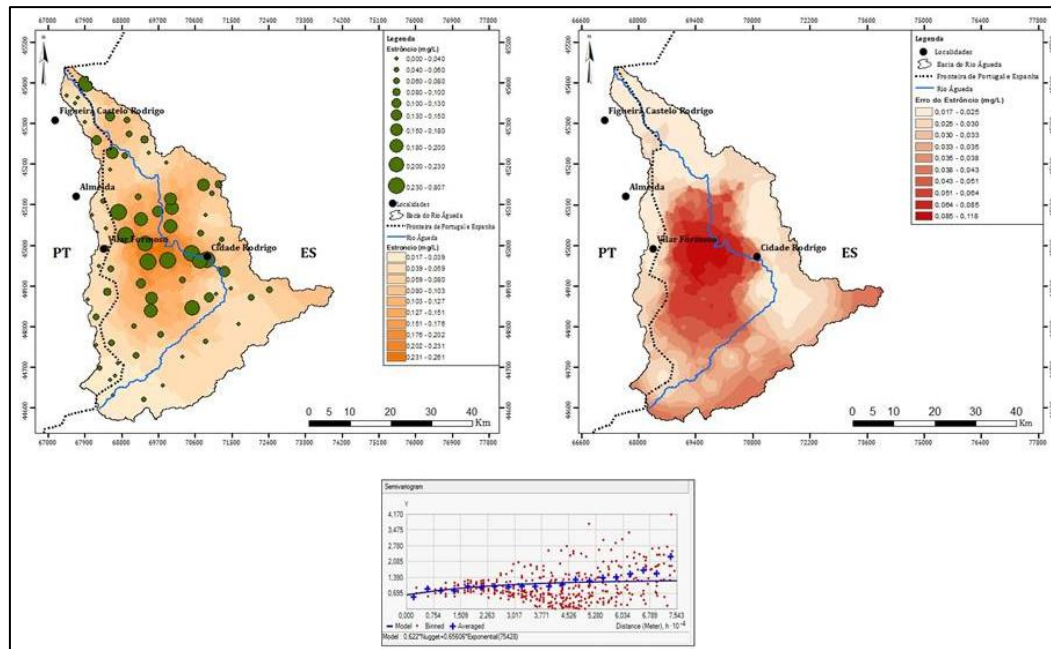


Figura 27: Mapa de distribuição do estrôncio, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado

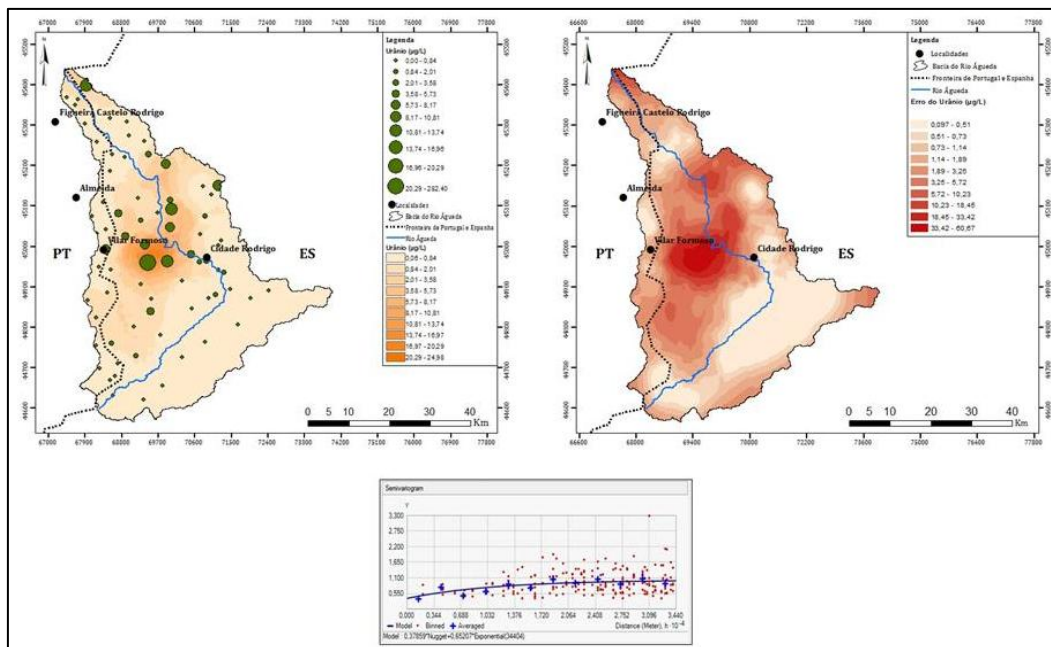


Figura 28: Mapa de distribuição do urânio, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado

Para além dos parâmetros mencionados anteriormente pode verificar-se que a distribuição do Ca, CE e pH também registam valores elevados na zona central da bacia hidrográfica do rio Águeda e parcialmente a norte da mesma (Fig. 29, 30 e 31; Anexo IX).

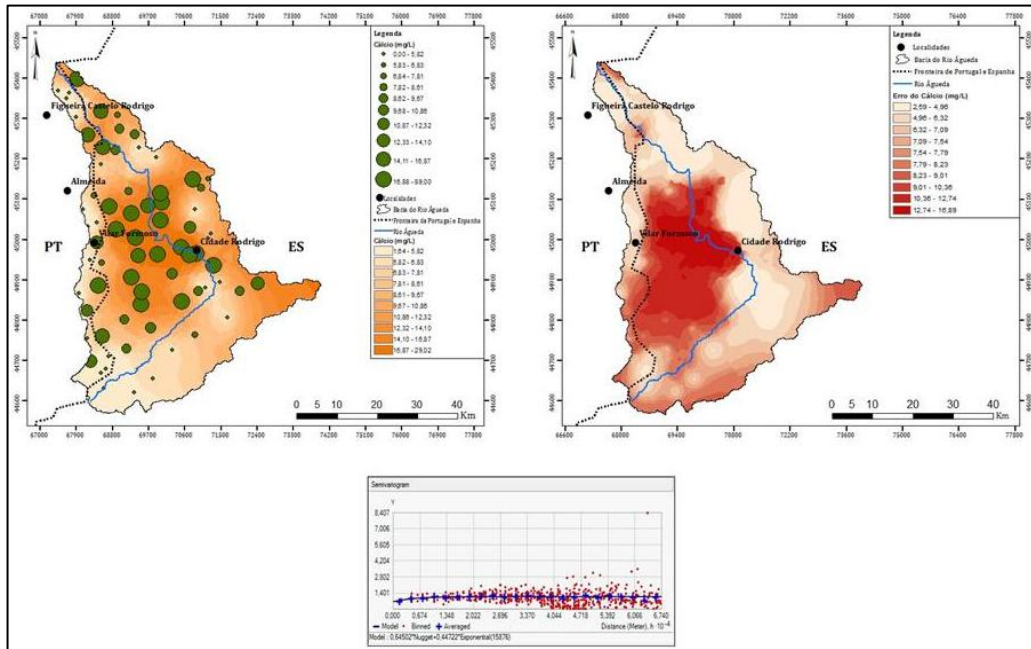


Figura 29: Mapa de distribuição do cálcio, do erro e variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

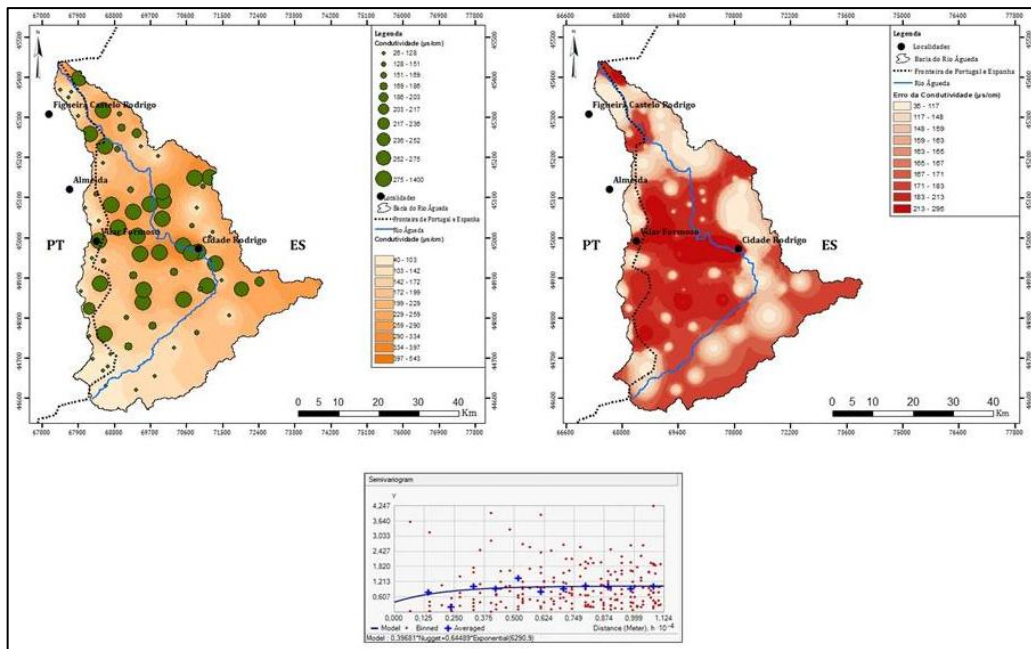


Figura 30: Mapa de distribuição da condutividade elétrica, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.



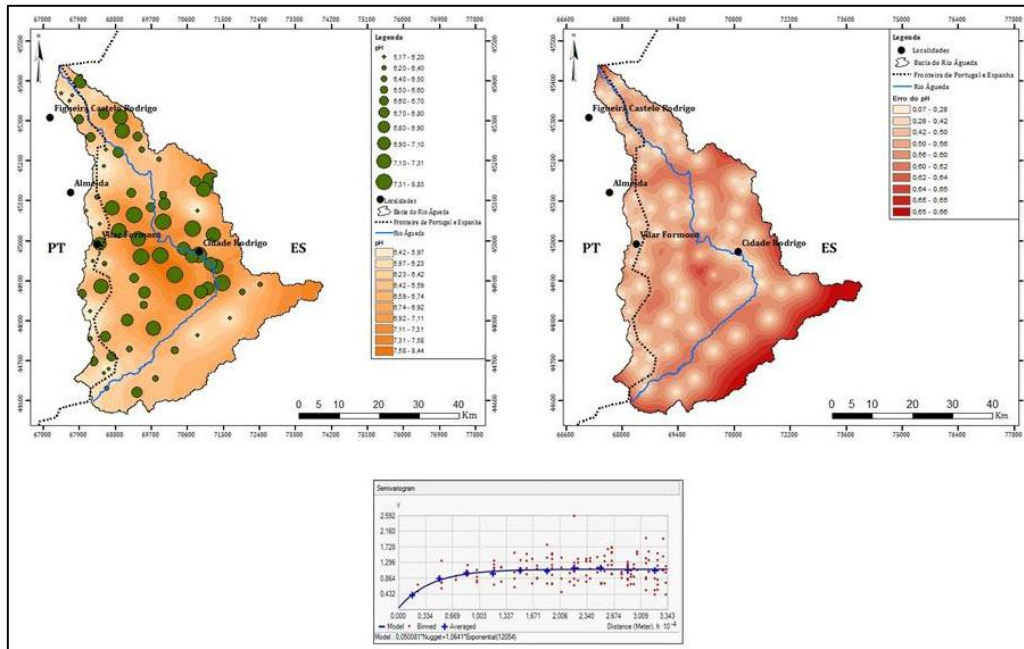


Figura 31: Mapa de distribuição do pH, do erro variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado

Para os elementos B, Cl, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, verifica-se uma distribuição generalizada, ou seja ao longo de basicamente toda a área da bacia hidrográfica do rio Águeda, não se identificando assim nenhuma zona isolada com elevada concentração de teores, registando-se o mesmo comportamento para os mapas do erro associado, (Fig. 32, 33, 34 e 35; Anexo IX).

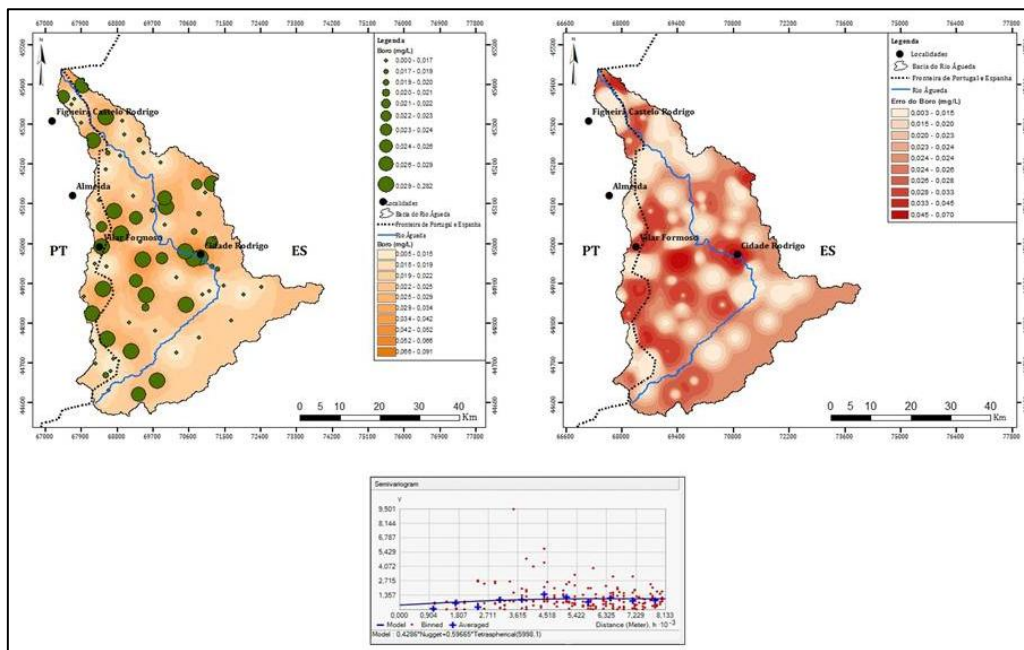


Figura 32: Mapa de distribuição do boro, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

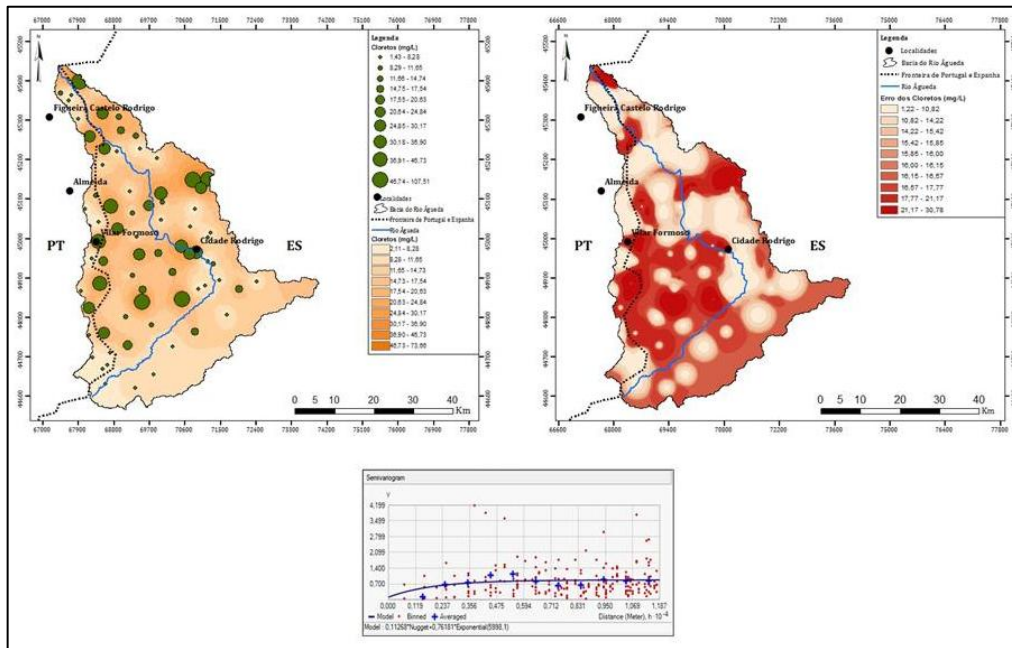


Figura 33: Mapa de distribuição dos cloretos, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

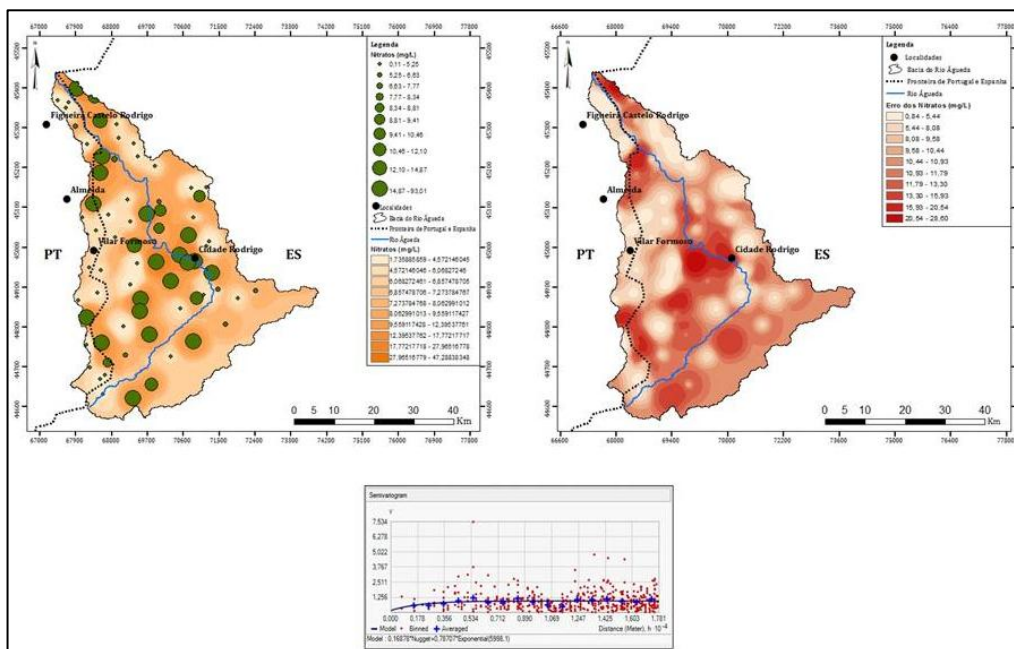


Figura 34: Mapa de distribuição dos nitratos, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

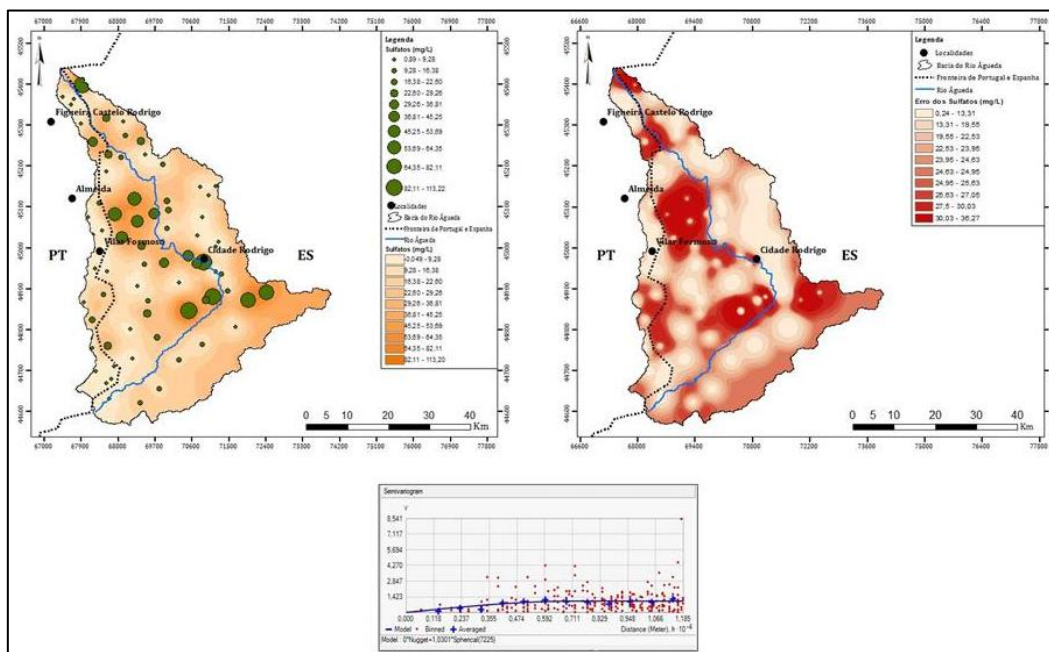


Figura 35: Mapa de distribuição dos sulfatos, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

Por fim, o manganês tendo um comportamento isolado, pois apresenta uma distribuição bastante heterogénea, com maior incidência na zona oeste da bacia hidrográfica do rio Águeda (Fig. 36; Anexo IX).

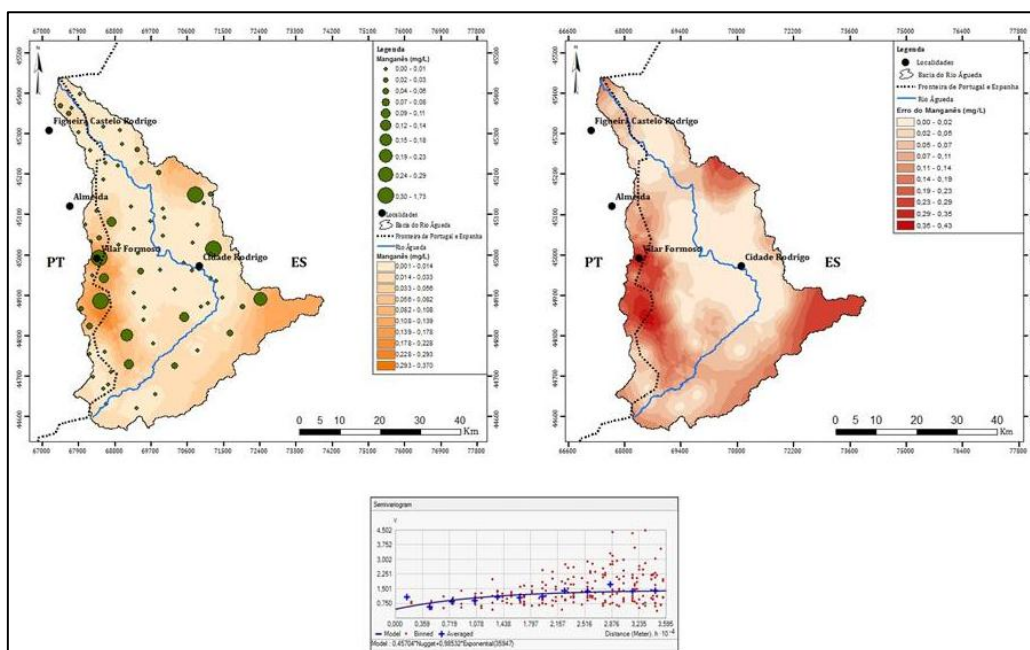


Figura 36: Mapa de distribuição do manganês, do erro, variograma experimental e modelo teórico isotrópico ajustado.

Após a conclusão do estudo eliminaram-se os seguintes elementos: DO, K, Na, Mg, ORP e  $\text{PO}_4^{3-}$ , isto porque os variogramas obtidos revelavam um grande grau de incerteza, levando a uma interpolação desaconselhada, inviabilizando assim a sua representação espacial, bem como, a sua análise posteriormente.

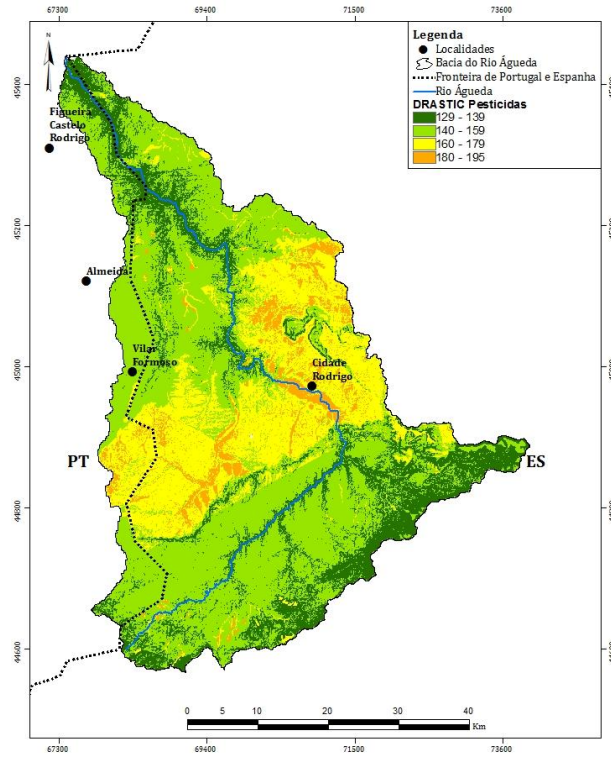
Tendo em consideração os resultados apresentados verifica-se que os valores mais elevados, nomeadamente para os parâmetros pH, Sr, As e U, tendem a coincidir com as zonas de antigas explorações mineiras existentes na área da bacia hidrográfica do rio Águeda.

Pode verificar-se, também, que a zona onde se observam os teores mais elevados, tende a coincidir com maiores erros associados. Assim sendo, será fundamental a realização de uma outra campanha de amostragem, de forma a recolher mais informação, nas zonas onde os resultados mostram maior incerteza associada à interpolação, tornando possível captar a variabilidade a curta e média distância.

Numa análise final cruzou-se informação obtida nos mapas de distribuição de teores anteriormente apresentados com o mapa do índice de DRASTIC pesticida. O mapa de vulnerabilidade obtido pela aplicação do método DRASTIC pesticida ilustra as várias heterogeneidades no que respeita à vulnerabilidade intrínsecas, presentes no sistema de águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Águeda (Fig. 37; Anexo X).

Como se pode visualizar na Figura 37 (Anexo X), a zona de maior vulnerabilidade ocorre na área central da bacia hidrográfica do rio Águeda, registando -se valores de vulnerabilidade elevada. Esta zona coincide com a área onde a maioria dos elementos registam teores mais elevados, como por exemplo para o As, Ba, Sr, U, Ca, CE, e  $\text{NO}_3^-$  parcialmente o B, Cl e  $\text{SO}_4^{2-}$ , coincidindo com o extenso aquífero sedimentar terciário e área urbana e agrícola, desenvolvida na planície de Ciudad Rodrigo (Fig. 37; Anexo X) e (Fig. 25; Fig. 26; Fig. 27; Fig. 28; Fig. 29; Fig. 30; Fig. 34; Fig. 32; Fig. 33; e Fig. 35; Anexo IX)

Na parte norte e sul da bacia hidrográfica do rio Águeda verifica-se uma vulnerabilidade intermédia, com maior representatividade na classe de 140 a 159. Pode ser destacada a parte norte da bacia, correspondendo a características intrínsecas associadas à presença de calcários carsificados, dado que as atividades humanas são reduzidas ou praticamente inexistentes nesta área (Fig. 37; Anexo X e Fig. 7; Anexo III). Nesta zona podem, ainda ser indicadas as atividades mineiras desenvolvidas na mesma, uma vez que se verifica em simultâneo teores elevados de U, CE e B (Fig. 28; Fig. 30 e Fig.32; Anexo IX).



**Figura 37:** Mapa do Índice DRASTIC pesticida na bacia hidrográfica do rio Águeda. Fonte: Albuquerque et al. 2013.

## 5. Considerações Finais

O presente trabalho permite estudar a distribuição espacial dos diferentes parâmetros físico-químicos em estudo na bacia hidrográfica do rio Águeda.

De acordo com a análise estatística efetuada pode concluir-se a ocorrência de dois grupos distintos, relativos à correlação dos parâmetros estudados. Num dos grupos ocorrem o U e As, associados predominantemente às antigas explorações mineiras existentes na área da bacia hidrográfica do rio Águeda. O segundo, por sua vez, é constituído pelos restantes elementos, relacionados com as atividades agrícolas e humanas desenvolvidas na área da bacia hidrográfica do rio Águeda.

A bacia hidrográfica do rio Águeda apresenta uma clara heterogeneidade na distribuição dos teores obtidos. As zonas onde ocorrem as maiores concentrações verificam-se na parte central da bacia hidrográfica e, coincide com o extenso aquífero de materiais detríticos de idade Terciária (Ciudad Rodrigo), correspondente à maior área urbana e industrial existente na bacia hidrográfica do rio Águeda.

Na zona norte e sul da bacia hidrográfica do rio Águeda, identificam-se áreas de concentrações moderadas a elevadas, que merecem um estudo futuro mais detalhado. Contudo os resultados obtidos indicam que as antigas explorações mineiras existentes na região continuam a construir um fator de risco ambiental.

O recurso à krigagem gaussiana, na modelação espacial mostrou ser uma ferramenta robusta e com resultados credíveis, adequando-se assim ao estudo efetuado.

A validação dos modelos utilizados revela-se adequada para a avaliação espacial dos impactes ambientais associados aos potenciais contaminantes presentes na área de estudo, viabilizando os resultados obtidos e permitindo a definição de uma futura rede de monitorização específica. Neste sentido, considera-se que existe a necessidade de efetuar uma recolha de amostragem na época de inverno, de forma a verificar e comparar a distribuição temporal dos parâmetros físico-químicos em estudo, permitindo, assim concluir se os resultados obtidos correspondem a uma possível situação temporária ou permanente na bacia hidrográfica do rio Águeda.

Os resultados obtidos nos mapas de teores podem ser avaliados, em termos de risco, pela sobreposição com a cartografia obtida para a caracterização da vulnerabilidade, pelo método do índice DRASTIC pesticida (Fig. 37), uma vez que as áreas de maiores concentrações de contaminantes tendem a coincidir com as de maior vulnerabilidade.

A definição de um desenho de amostragem futuro, com todo o trabalho de investigação subsequente permitirá explorar e comparar a utilização de distintas técnicas de geoestatística, na interpolação/simulação dos diferentes atributos, para

toda a área de estudo, conduzindo assim a um melhor conhecimento da qualidade de água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Águeda.

## Referências Bibliográficas

- Agência Europeia do Ambiente, 2006. *Corine Land Cover*.
- Albuquerque, M. T. D., Sanz, G., Oliveira, S.F., Martínez-Alegría, R. and Antunes, I. M. H. R., 2013. *Spatio-Temporal Groundwater Vulnerability Assessment - A Coupled Remote Sensing and GIS Approach for Historical Land Cover Reconstruction*. *Water Resource Management* 27: 4509–4526. DOI: 10.1007/s11269-013-0422-0.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, JH., Petty, RJ. and Hackett, G., 1987. *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. U.S.: Environmental Protection Agency (Eds).
- Andriotti, J. L. S., 1989. *Introdução à Geoestatística*. Porto Alegre Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- Barbosa, S., 2013. *Análise de dados em Geociências*. [online]. Available from: [http://moodlearquivo.fc.ul.pt/1213/pluginfile.php/51965/mod\\_resource/content/1/slidesGeoestatistica.pdf](http://moodlearquivo.fc.ul.pt/1213/pluginfile.php/51965/mod_resource/content/1/slidesGeoestatistica.pdf) [Accessed 24 october 2013]
- Bragancanet, 2013. *A água na natureza* [online]. Available from: <http://www.bragancanet.pt/agua/inag.htm>[Accessed 20 october 2013]
- Burrough, P. A., 1987. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press.
- Diário da República, 2005. *Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas* [online]. Available from: <http://www.dre.pt/pdf1s/2005/12/249A00/72807310.pdf> [Accessed 2 October de 2013]
- Diário da República, 2009. *Decreto Regulamentar nº9/2009 de 29 de Maio* [online]. Available from: <http://dre.pt/pdf1s/2009/05/10400/0336603380.pdf> [Accessed 25 September de 2013]
- Diário da República, 2009. *Decreto Regulamentar nº10/2009 de 29 de Maio* [online]. Available from: <http://dre.pt/pdf1sdip/2009/05/10400/0338003383.pdf> [Accessed 21 September de 2013]
- Duarte, A. A. L. S. and Cunha, P. D. R., 2013. *Remoção de Arsénio em Águas para consumo humano*. Braga: Universidade do Minho
- Estévez, G. R. and Castro, J. M. R., 1995. *Atlas del territorio de Castilla y León*. Valladolid: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Freeze, R. A. And Cherry, J. A., 1979. *GroundWater*. Neily: Editorial by Cathy Brenn/Kim Mc.



- Guerreiro, N. and Pereira, P. B., 2002. *Poluição e qualidade da água*. Instituto da água/Direção de Serviços do Planeamento. Lisboa: Ministério das Cidades Ordenamento do território e ambiente.
- Hengl, T., 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32 (9), 1283-1298.
- IPMA, 2013. *Normais Climatológicas* [online] Available from: [http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/010/\[23 October 2013\]](http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/010/[23%20October%202013])
- ISA, 2013. *Teoria de Amostragem* [online]. Available from: [http://www.isa.utl.pt/dm/mestrado/2009-10/UCs/ta/seb\\_amost1.pdf](http://www.isa.utl.pt/dm/mestrado/2009-10/UCs/ta/seb_amost1.pdf) [Accessed 25 october 2013].
- Matheron, G., 1965. *Les Variables Regionalisées et Leur Estimation*. Paris: Masson & Cie.
- Meioambiente, 2013. *Química da Água Subterrânea* [online]. Available from: <http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm> [Accessed 23 october 2013].
- Mingoti, S. A., 2005. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Ministério do Meio Ambiente, 2013. *Ciclo Hidrológico* [online]. Available from: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico> [Accessed 3 november 2013].
- Naturlink, 2013. *Água um recurso limitado* [online]. Available from: [naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Sistemas-Aquaticos/content/agua-um-recurso-limitado](http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Sistemas-Aquaticos/content/agua-um-recurso-limitado) [Accessed 23 october 2013]
- Ninyerola, M., Pons, X. y. and Roure, J. M., 2005. *Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Belaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Parlamento Europeu e do Conselho, 2007. *Directiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de Março de 2007 , que estabelece uma infraestrutura de informação geográfica na Comunidade Europeia (Inspire)* [online]. Available from: [http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga\\_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEX num doc & lg = P T & num doc = 307 L 0002 & model =g uichett](http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEX_num_doc&lg=P%20T&num_doc=307%20L%200002&model=gui%20chett) [Accessed 21 September de 2013]
- Pestana, M. H. and Gageiro, J. N., 2003. *Análise de dados para ciências sociais, A complementaridade do SPSS*. 3ª Ed. Lisboa: Edições Sílabo.
- Rebelo, F., 2003. *Riscos naturais e ação antrópica, estudos e reflexões*. 2ª Ed revista e aumentada. Coimbra: Imprensa da Universidade.
- Ribeiro, L., 2009. *Águas subterrâneas*. Centro de Geossistemas Instituto Superior Técnico.

- Saito, H. and Goovaerts, P., 2000. *Geostatistical Interpolation of Positively Skewed and Censored Data in a Dioxin-Contaminated Site*. Environ. Sci. Technol.
- Sánchez-González, S., García-Sánchez, A., Caravantes, P., Rodríguez-Cruz, M. S., Sánchez-Martín, M. J. and Rodríguez, I.SR., 2013. *Cuenca del rio Águeda un territorio para dos Países*. Valladolid: Francisco Campos Sánchez-Bordona
- SCRIBD, 2013. *Análise de Riscos Ambientais e Lógica Fuzzy* [online]. Available from: <http://www.scribd.com/doc/4809204/Analise-de-Riscos-Ambientais-e-Logica-Fuzzy> [Accessed 28 october 2013]
- Soares, A., 2006. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. 2ª Ed. Lisboa: IST.
- Spiazzi, F. R., 2011. *Análise geoestatística de atributos químicos e físicos do solo em áreas construídas após mineração de carvão no município de Louro Muller, SC*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- Tonello, K. C., 2005. *Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.
- Tucci, C. E. M., 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2ª Ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS.
- União Europeia, 2010. Regulamento (EU) N°1089/2010 da Comissão de 23 de Novembro de 2010. [online]. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:323:0011:0102:PT:PDF> [Accessed 21 September de 2013]
- Valladares, G. S. and Faria, A. L. L., 2004. *SIG na análise de salinização na bacia do rio Coruripe, Al.*. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Além Paraíba.

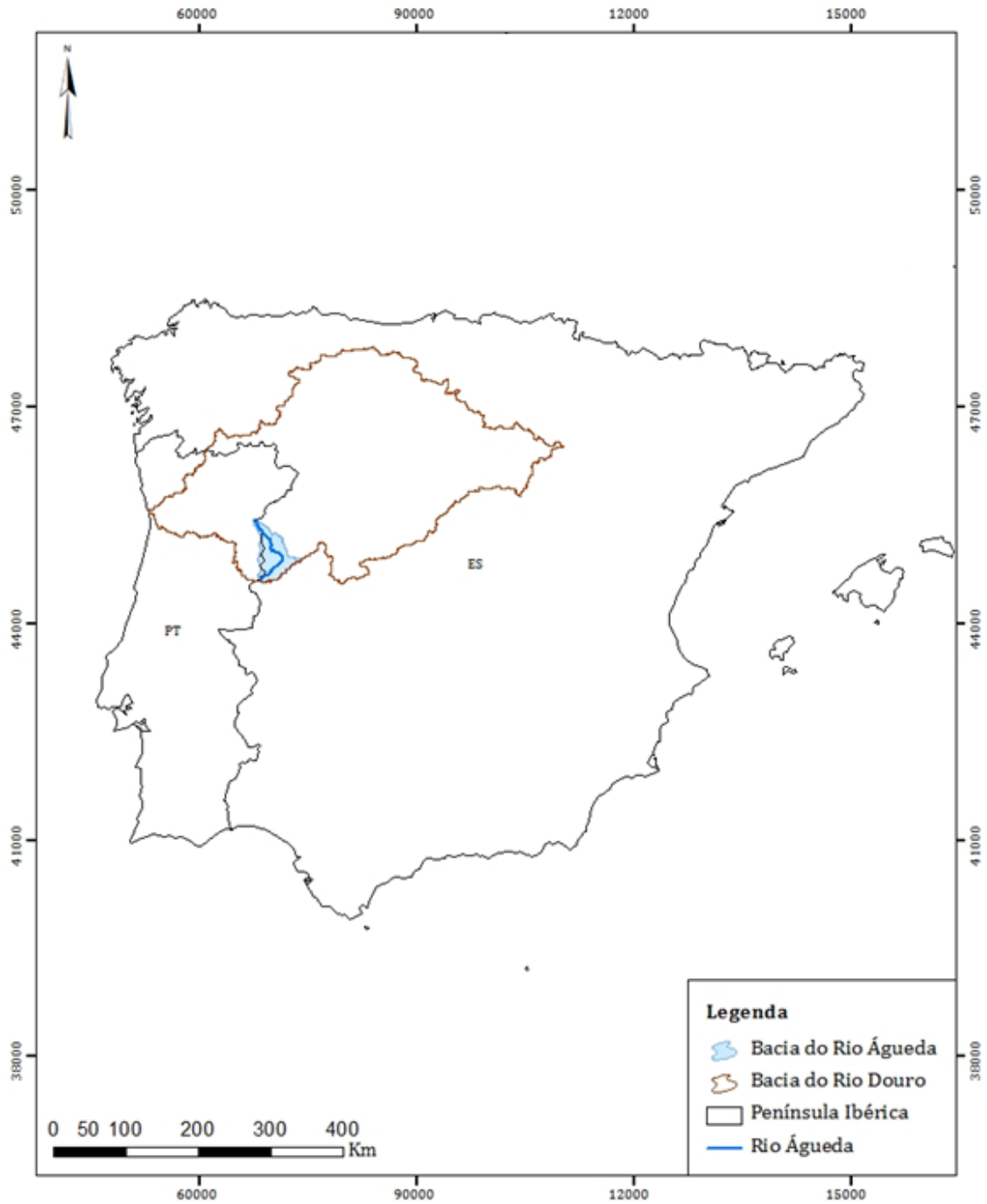


# Anexos



## **Anexo I- Localização geográfica e delimitação da bacia hidrográfica do rio Águeda**





Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

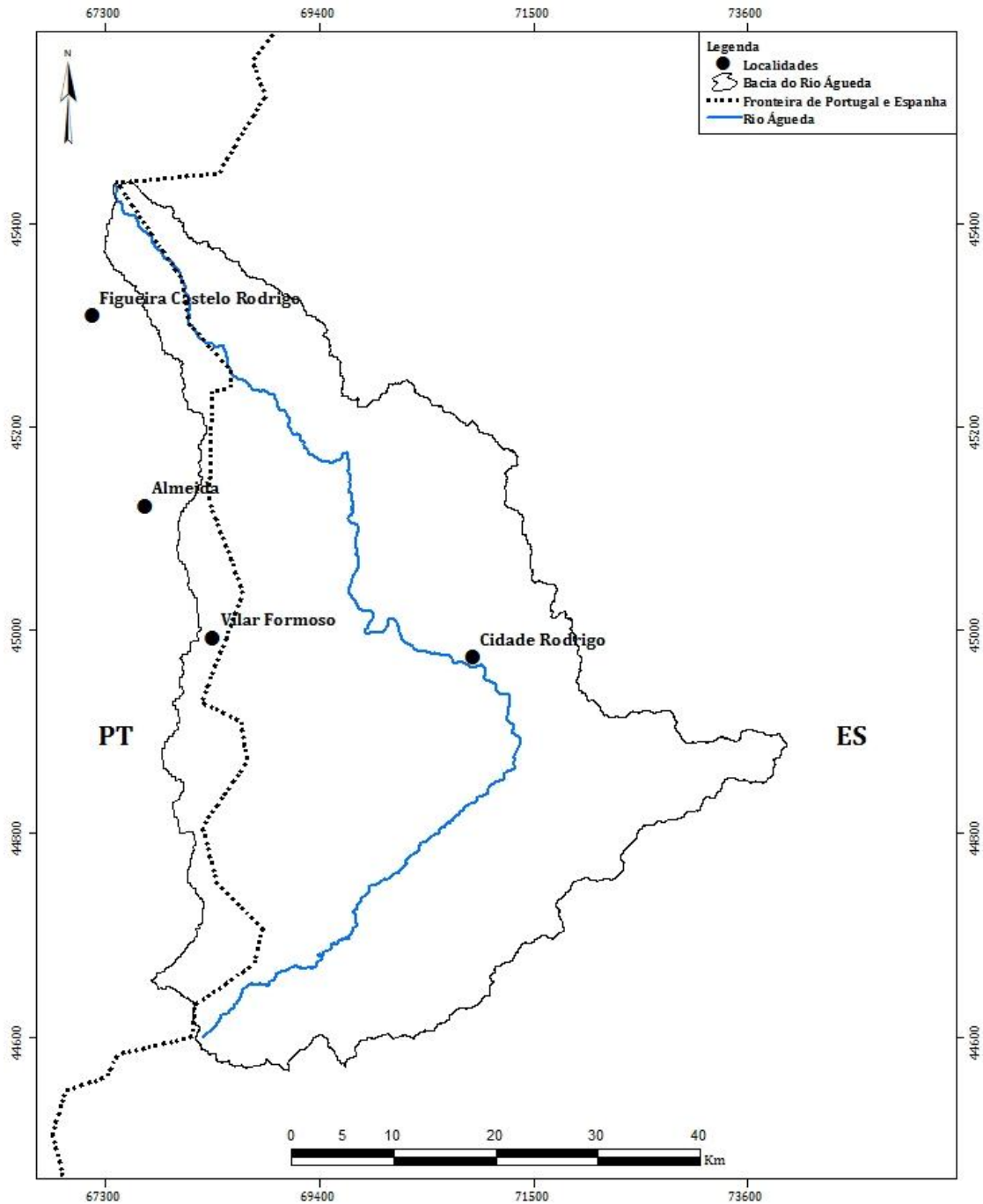
**Mapa da Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Águeda**

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013







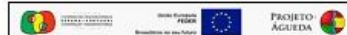


Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



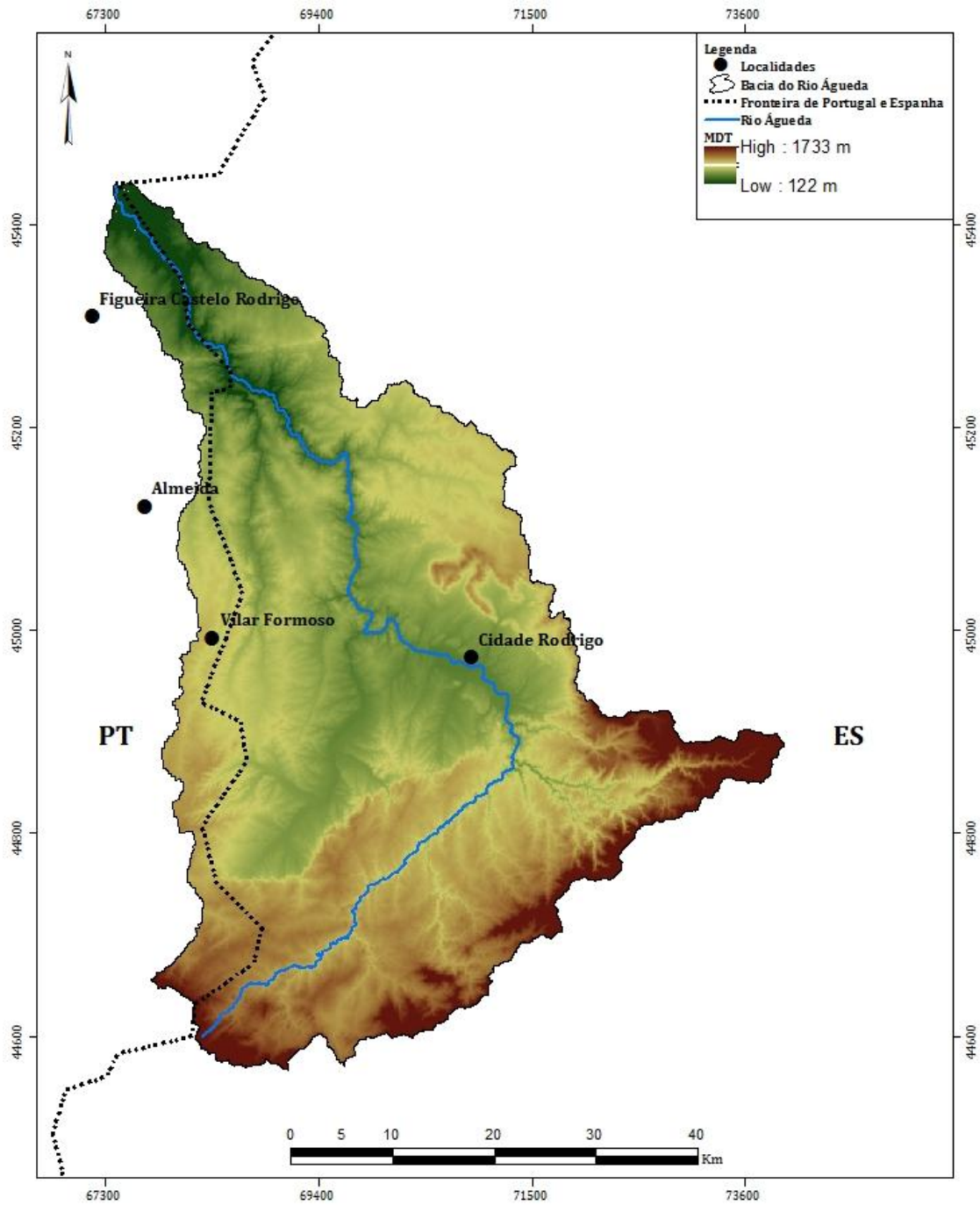
## Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Águeda





## **Anexo II- Modelo digital do terreno para a bacia hidrográfica do rio Águeda**



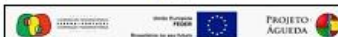


Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa do MDT da Bacia Hidrográfica do Rio Águeda**

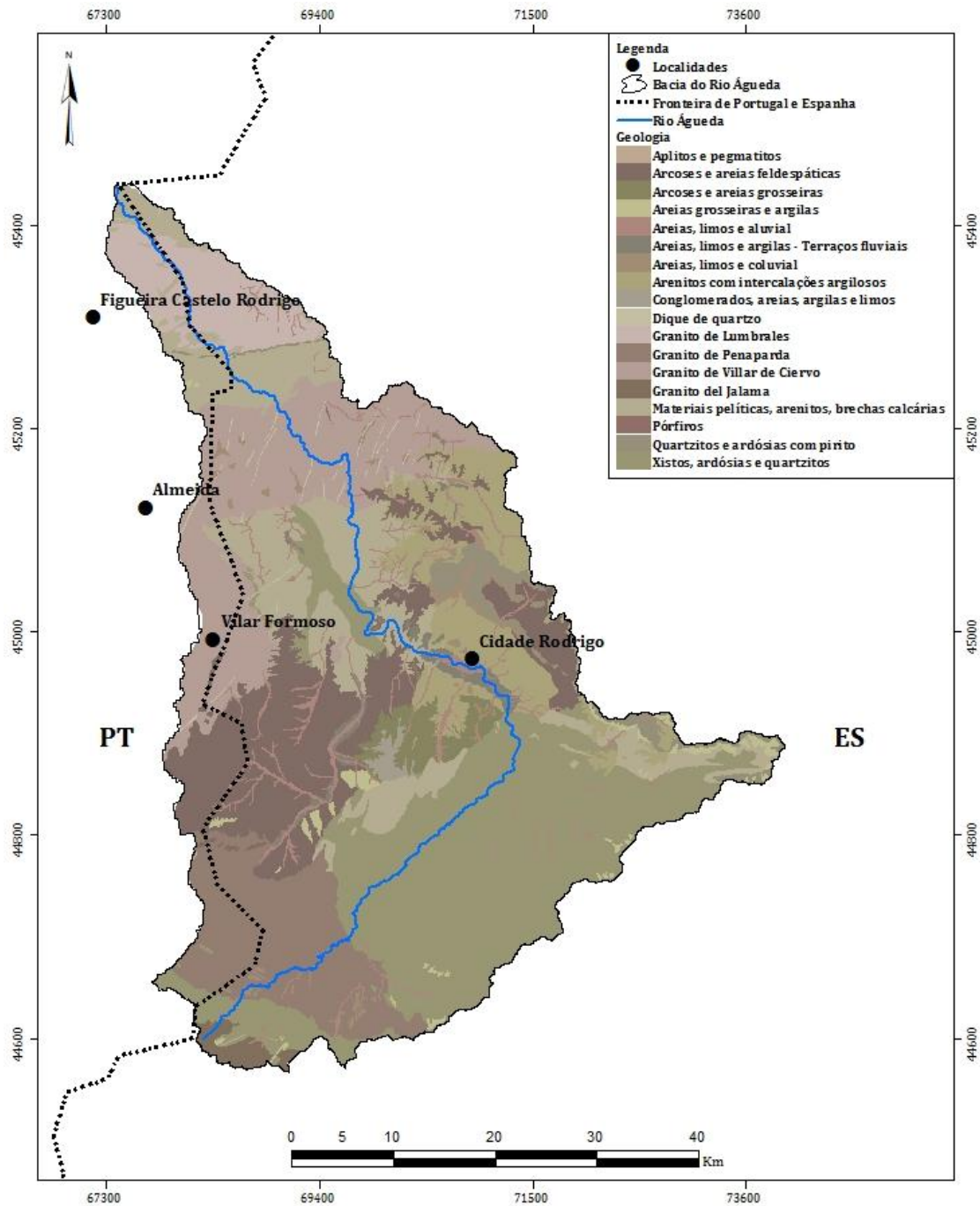




## **Anexo III- Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Águeda**







Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013

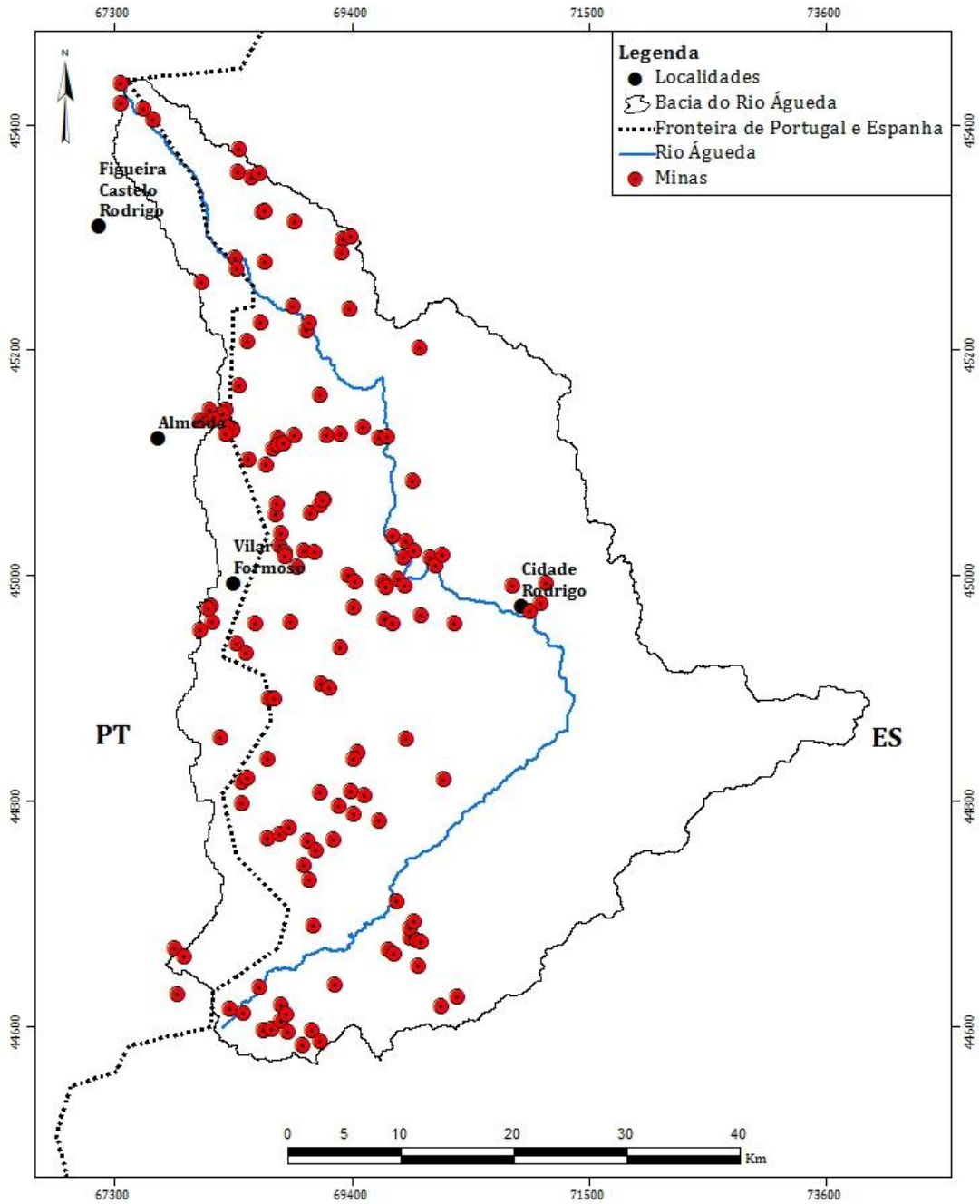
**Mapa Geológico  
 da  
 Bacia Hidrográfica  
 do  
 Rio Águeda**





## **Anexo IV- Mapa dos registos mineiros na área da bacia hidrográfica do rio Águeda**



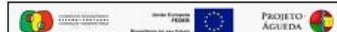


Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



### Mapa das Minas na Bacia Hidrográfica do Rio Águeda

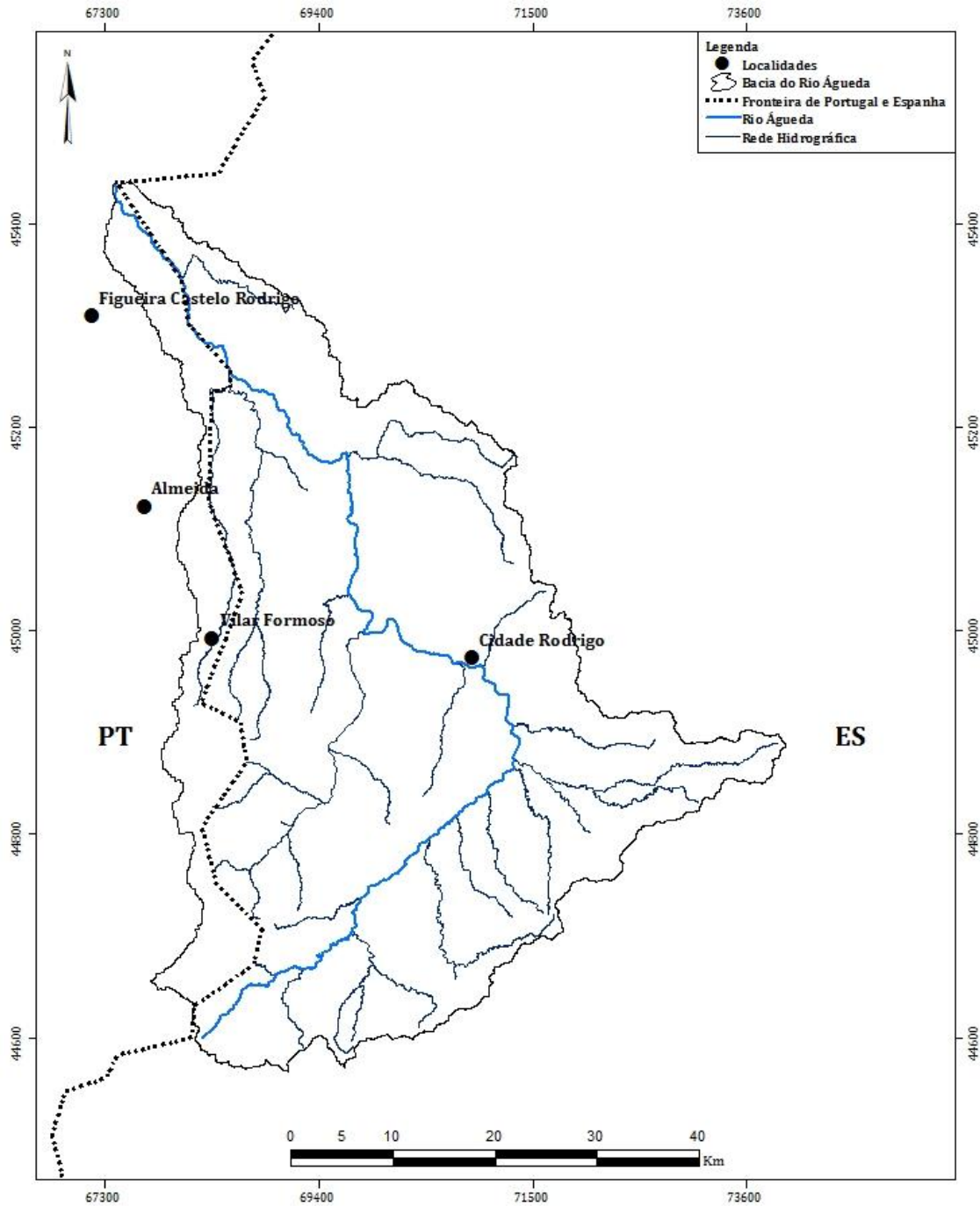




## **Anexo V- Mapa da rede hidrográfica da bacia hidrográfica do rio Águeda**







Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



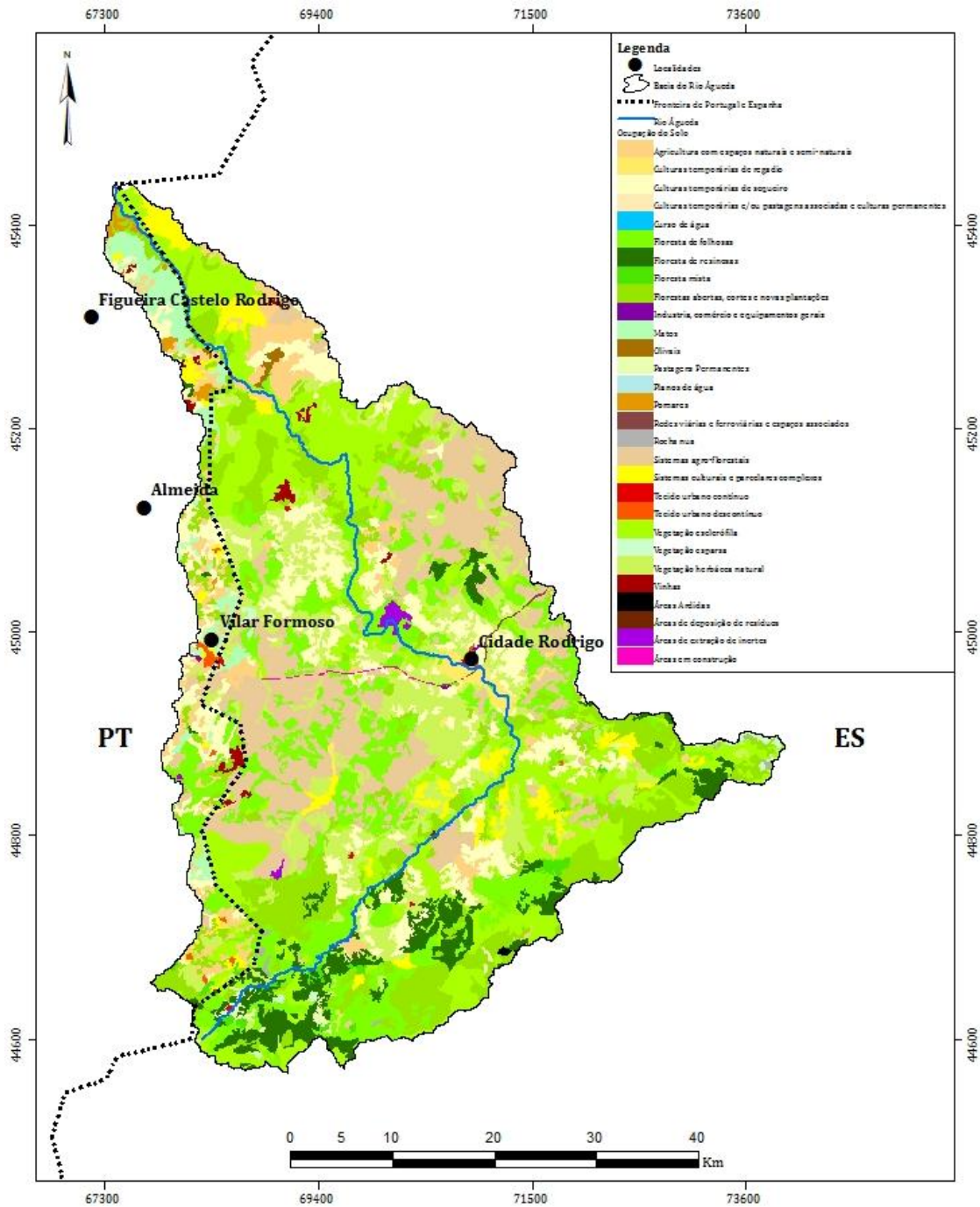
## Mapa Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Águeda





**Anexo VI- Mapa da ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Águeda (Fonte: Agência Europeia do Ambiente, 2006)**





Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013

**Mapa da Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Águeda**

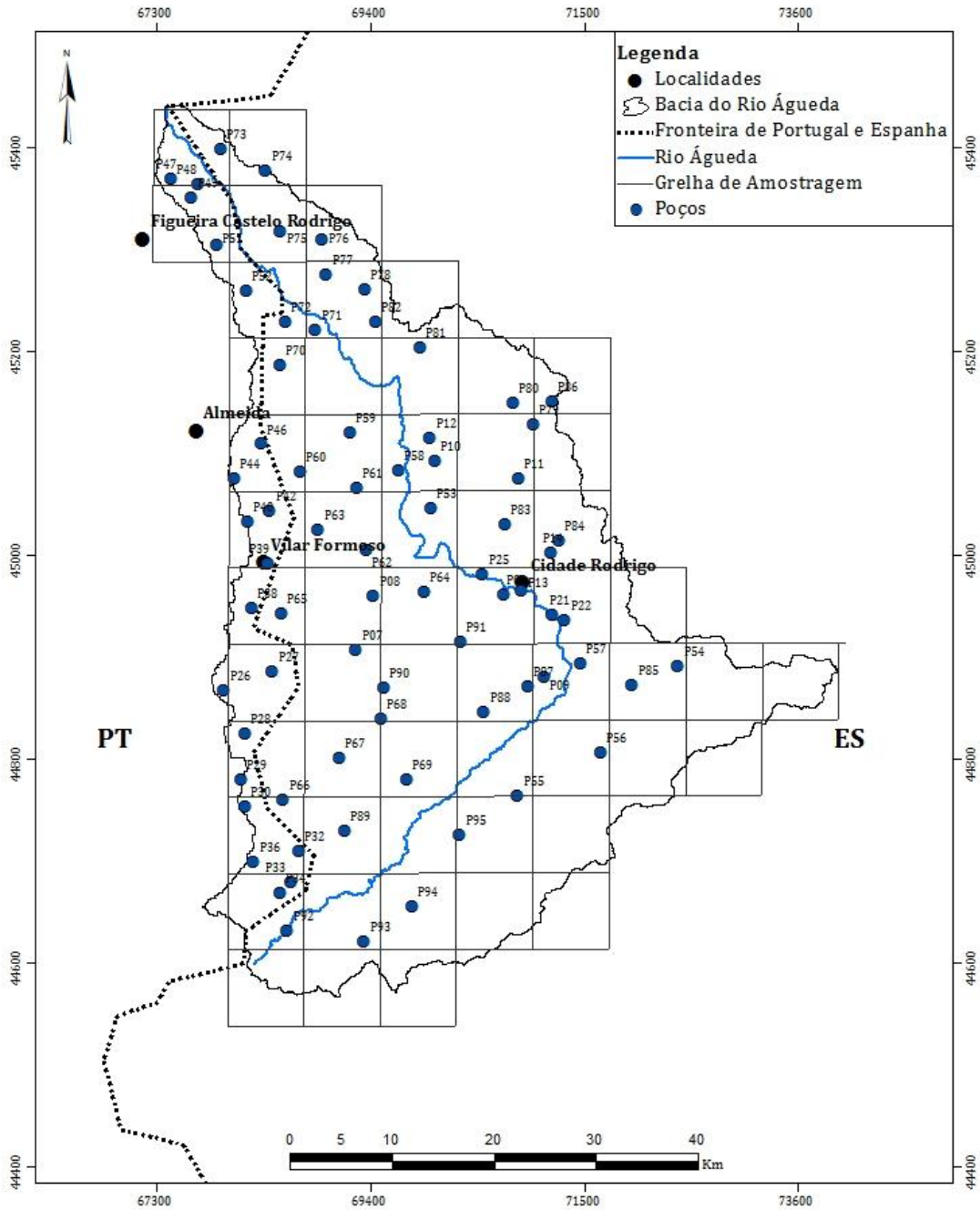




## **Anexo VII- Mapa da grelha de amostragem de água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Águeda**







Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013

**Mapa da Grelha de Amostragem e Poços Amostrados**



## **Anexo VIII- Identificação, localização e resultados obtidos nos pontos de água da bacia hidrográfica do rio Águeda**



Cod_cap	X	Y	pH	CE	NaCl	ORP	DO	TDS	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	As	B	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	U
P04	707056,656206	4496222,759040	6,91	441,0	214,00	231,00	4,03	283,0	25,426	23,781	0,195	29,461	5,01	0,048	0,044	34,34	0,010	1,24	20,40	0,004	17,33	0,224	1,40
P07	692616,296788	4490732,589330	6,61	180,8	85,50	227,00	4,55	115,3	11,150	0,452	0,495	4,053	13,70	0,026	0,023	21,53	0,00000	0,70	5,68	0,003	9,66	0,119	0,70
P08	694331,368978	4496062,820570	7,94	413,0	196,00	160,40	3,46	263,0	27,565	0,518	0,000	11,477	680,06	0,282	0,012	15,12	0,00000	1,71	4,68	0,040	47,60	0,336	282,40
P09	711109,391327	4488045,710360	7,07	370,0	0,00	209,00	2,57	238	6,745	1,000	0,000	112,52	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0	0	0,00	0,000	0	0	1,10
P10	700312,870142	4509279,146250	6,87	341,0	161,30	213,00	5,10	218,0	8,666	9,813	0,044	16,926	6,95	0,034	0,020	35,33	0,005	0,79	12,18	0,007	16,11	0,198	11,80
P11	708556,352312	4507509,973790	5,17	25,5	11,76	332,00	6,86	16,07	2,792	3,291	0,032	1,113	16,92	0,018	0,0000	1,61	0,000	0,22	0,43	0,005	2,78	0,022	1,10
P12	699870,925477	4511491,916300	6,52	333,0	159,50	236,00	2,58	215,0	33,885	6,505	0,039	19,210	4,33	0,026	0,028	34,22	0,005	0,85	13,31	0,002	19,15	0,169	2,30
P13	708883,888445	4496495,620280	7,45	873,0	428,00	187,60	6,23	557,0	33,648	52,520	1,514	85,460	68,22	0,126	0,077	67,08	0,015	26,61	30,43	0,000	32,98	0,262	3,20
P14	711751,392772	4500331,875990	5,92	62,3	29,00	277,00	5,44	39,60	5,318	1,624	0,058	1,711	3,63	0,023	0,013	5,00	0,008	0,64	2,11	0,000	3,41	0,032	0
P21	711822,770807	4494201,354161	7,07	34,3	16,00	201,00	4,83	21,7	2,139	1,136	0,000	2,138	3,10	0,019	0,0000	2,75	0,007	0,46	0,86	0,000	2,39	0,017	0
P22	713138,388457	4493633,814934	7,23	400,0	189,70	202,00	6,3	256	8,802	18,851	0,101	10,252	19,18	0,018	0,041	43,44	0,010	0,86	21,27	0,000	5,03	0,149	1,50
P25	705043,819770	4498129,136660	6,95	760,0	370,00	218,00	4,33	486	34,905	25,390	1,224	39,697	7,14	0,046	0,098	58,43	0,011	41,21	21,57	0,000	18,61	0,285	4,50
P26	679634,568950	4486696,056010	6,64	52,3	24,60	270,00	3,69	33,20	6,686	1,878	0,150	6,505	3,22	0,016	0,001	1,71	0,135	3,02	0,73	0,028	4,66	0,014	0,50
P27	684404,639370	4488619,943710	7,11	407,0	193,80	210,00	3,40	260,0	44,697	1,309	3,149	14,937	16,15	0,061	0,024	21,89	0,006	16,17	5,40	0,611	22,21	0,088	0,50
P28	681688,502345	4482472,405570	5,49	221,0	104,80	304,00	3,97	141,0	25,440	47,121	0,392	17,168	1,46	0,045	0,048	11,14	0	6,19	5,17	0,044	11,12	0,071	0,60
P29	681269,119363	4477972,442070	5,25	58,1	27,50	301,00	3,64	37,50	7,375	3,397	0,293	3,768	3,93	0,010	0,006	2,88	0	0,64	0,83	0,018	5,18	0,019	0,30
P30	681701,194446	4475425,835550	6,21	81,6	38,20	267,00	5,88	52,10	7,484	0,114	0,185	3,250	17,09	0,000	0,003	5,02	0	1,04	1,71	0,003	4,83	0,035	0,30
P32	687004,318738	4470954,703060	6,68	53,6	24,50	282,00	6,12	33,60	5,526	8,790	0,322	2,762	1,52	0,000	0,002	1,87	0	0,57	0,60	0,009	5,20	0,017	0,00
P33	686212,373663	4467895,102730	5,47	30,5	14,34	297,00	5,59	19,86	1,566	3,706	0,046	1,566	0,41	0,000	0,0000	1,32	0	0,90	0,43	0,008	2,31	0,013	0,00
P34	685149,077542	4466880,668670	6,05	30,3	14,21	281,00	2,29	19,41	2,330	0,242	0,040	2,458	0,36	0,020	0,005	1,81	0	0,53	0,43	0,002	2,86	0,016	0,00
P36	682529,483718	4469877,989240	6,66	105,7	49,70	245,00	7,15	67,80	1,433	5,191	0,049	0,888	0,63	0,014	0,015	13,75	0	1,30	1,85	0,003	2,67	0,055	0,60
P38	682368,458878	4494900,067000	5,91	36,9	17,34	267,00	6,86	23,40	2,140	4,207	0,288	2,774	3,35	0,000	0,0000	1,50	0	0,39	0,34	0,000	3,89	0,013	0,00
P39	684003,507004	4499254,587470	7,09	447,0	214,00	214,00	3,25	286,0	39,789	3,044	0,000	1,474	1,33	0,058	0,006	13,16	0,047	9,21	3,13	1,726	33,28	0,069	5,80
P40	681891,391565	4503309,768980	5,91	45,1	21,10	294,00	7,29	28,60	5,341	4,704	0,270	2,736	2,29	0,012	0,0000	1,95	0,000	0,46	0,50	0,025	4,56	0,019	0,10
P42	684117,422306	4504329,125450	5,92	39,2	18,25	271,00	7,45	23,90	3,039	2,625	0,266	2,258	0,40	0,023	0,0000	0,77	0,000	0,22	0,19	0,011	3,79	0,009	0,00
P44	680579,532839	4507595,053800	6,11	35,7	16,57	286,00	8,01	22,90	3,623	2,836	0,151	1,861	3,51	0,011	0,0000	0,92	0,000	0,32	0,26	0,006	3,63	0,011	0,00
P46	683285,200382	4511003,828060	6,33	140,5	66,40	249,00	6,21	89,80	11,332	23,486	0,282	11,125	6,63	0,015	0,011	7,48	0,000	0,88	2,72	0,006	8,41	0,056	0,20

Cod_cap	X	Y	pH	CE	NaCl	ORP	DO	TDS	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	As	B	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	U
P47	674465,871900	4536998,214700	6,09	91,5	43,00	264,00	3,59	57,80	11,108	1,288	0,989	6,383	5,54	0,026	0,005	4,35	0,000	2,45	1,63	0,016	5,65	0,030	0,20
P48	677115,886500	4536399,652800	5,87	30,4	14,28	281,00	7,29	19,52	2,739	2,687	0,106	1,163	6,12	0,000	0,0000	1,03	0,010	0,24	0,35	0,006	3,27	0,011	0,40
P49	676454,607235	4535064,659240	5,79	28,6	13,19	280,00	4,28	18,15	2,609	0,376	0,264	1,047	7,44	0,010	0,0000	0,73	0,022	0,37	0,23	0,013	3,30	0,010	0,30
P51	678931,661247	4530505,676830	6,64	58,7	27,30	258,00	6,29	37,30	5,007	6,374	0,181	6,506	6,10	0,016	0,0000	1,56	0,008	0,53	0,86	0,005	5,02	0,013	0,50
P52	681781,826797	4525917,350120	6,62	279,0	130,90	233,00	4,42	178,1	26,577	1,159	0,131	32,198	9,09	0,039	0,011	14,19	0	3,62	9,09	0,000	13,74	0,123	0,30
P53	699959,632449	4504698,477070	7,42	350,0	167,20	-32,90	7,95	224,0	6,295	9,074	0,363	11,830	14,41	0,012	0,018	29,55	0	1,88	12,82	0,000	8,47	0,196	7,70
P54	724245,220647	4489078,985820	6,38	198,2	93,80	-115,10	5,21	126,8	4,219	5,887	0,000	71,254	5,33	0,014	0,008	13,47	0	1,48	8,74	0,181	6,57	0,068	0,00
P55	708483,891135	4476367,496060	5,82	142,1	66,80	-97,30	7,70	90,60	15,118	25,949	0,030	9,779	4,73	0,014	0,016	7,46	0	4,23	4,64	0,002	5,26	0,058	0,00
P56	716612,679989	4480604,570540	5,78	52,0	24,40	-83,60	4,40	33,20	4,159	5,638	0,000	5,339	5,79	0,014	0,0000	2,42	0	0,45	1,49	0,033	3,42	0,025	0,00
P57	714638,179633	4489410,341210	7,69	69,8	32,80	-190,10	20,20	45,00	3,819	5,700	0,016	13,004	6,30	0,014	0,001	3,39	0,014	0,18	2,19	0,000	4,70	0,035	0,00
P58	696760,572169	4508335,662890	6,62	299,0	144,50	-130,40	4,76	193,7	21,408	24,021	0,065	38,861	7,71	0,018	0,002	15,10	0,000	0,62	11,40	0,001	11,39	0,135	0,20
P59	691955,377832	4512034,764740	6,69	165,5	77,90	-138,40	7,18	105,7	6,705	2,612	0,000	56,204	2,31	0,014	0,001	7,82	0,000	0,27	6,76	0,001	7,75	0,069	0,60
P60	687123,940899	4508204,049980	7,29	653,0	317,00	-169,60	3,32	422,0	41,660	1,499	1,027	55,076	9,81	0,042	0,012	46,73	0,005	5,65	12,02	0,099	21,83	0,327	3,70
P61	692662,222645	4506586,016180	7,35	326,0	153,10	-172,60	6,58	208,0	9,685	2,684	0,047	45,345	6,12	0,024	0,012	25,81	0,000	2,03	8,20	0,002	9,66	0,181	1,50
P62	693621,930215	4500520,056350	7,30	348,0	166,60	-168,40	4,81	224,0	7,809	13,542	0,212	27,815	2,34	0,012	0,009	31,70	0,000	0,64	8,67	0,000	9,70	0,204	6,10
P63	688869,529836	4502468,902950	7,14	534,0	259,00	-161,20	5,28	344,0	24,911	3,558	0,490	49,252	14,40	0,036	0,030	41,21	0,006	5,45	14,49	0,000	13,55	0,249	5,60
P64	699285,239470	4496390,502610	7,69	586,0	282,00	172,70	6,94	375,0	16,228	93,009	2,315	31,091	49,16	0,023	0,071	52,67	0,000	3,26	12,78	0,000	8,27	0,328	11,50
P65	685239,970560	4494276,362690	6,22	131,0	61,70	257,00	4,74	83,9	19,552	3,425	0,237	5,676	14,26	0,000	0,008	7,51	0,000	0,62	2,11	0,094	6,96	0,063	0,50
P66	685423,360201	4476025,085500	6,75	465,0	223,00	233,00	4,66	297,0	26,094	29,894	14,646	28,926	45,29	0,063	0,007	16,34	0,000	36,36	6,35	0,002	17,42	0,074	1,40
P67	690949,668550	4480114,674200	6,88	132,7	62,40	232,00	3,50	84,90	8,813	0,307	0,053	6,661	3,02	0,015	0,005	8,64	0,006	2,20	2,61	0,168	6,08	0,052	0,60
P68	695045,066093	4483943,340580	6,57	495,0	239,00	240,00	3,60	316,0	72,978	17,489	1,354	22,884	10,36	0,021	0,042	27,59	0	4,94	9,11	0,007	20,20	0,184	4,10
P69	697520,741487	4478029,564540	7,31	174,8	80,80	206,00	6,20	110,1	9,313	19,441	0,168	17,921	1,97	0,014	0,012	9,87	0	1,24	4,96	0,000	6,28	0,080	0,40
P70	685084,158435	4518673,685700	5,28	67,4	31,50	297,00	6,27	43,10	6,792	17,582	0,044	1,528	3,12	0,000	0,0000	1,66	0	0,31	0,74	0,003	5,76	0,020	0,30
P71	688631,092355	4522154,953820	6,78	161,2	76,20	228,00	4,28	102,6	6,482	7,750	0,758	14,370	5,43	0,015	0,003	8,95	0,017	1,89	3,58	0,000	7,58	0,062	0,20
P72	685672,426261	4522875,912600	6,16	378,0	179,20	264,00	4,72	241,0	25,876	76,192	0,283	25,825	0,87	0,017	0,006	16,36	0,006	1,45	11,22	0,000	11,61	0,150	0,10
P73	679279,045095	4539897,719540	7,09	1400,0	678,00	211,00	4,39	879,0	107,51	92,240	6,086	99,820	9,89	0,119	0,117	89,00	0,018	12,98	31,86	0,004	45,14	0,807	13,60
P74	683706,268421	4537768,760730	5,91	64,1	29,30	265,00	6,65	40,00	6,049	11,253	0,218	4,160	2,54	0,016	0,0000	3,10	0,000	0,58	0,97	0,000	5,46	0,029	0,30
P75	685165,039866	4531795,000000	6,74	369,0	176,40	231,00	3,55	236,0	25,414	13,511	10,334	23,588	14,05	0,040	0,010	15,98	0,000	23,12	6,09	0,007	10,74	0,113	0,40

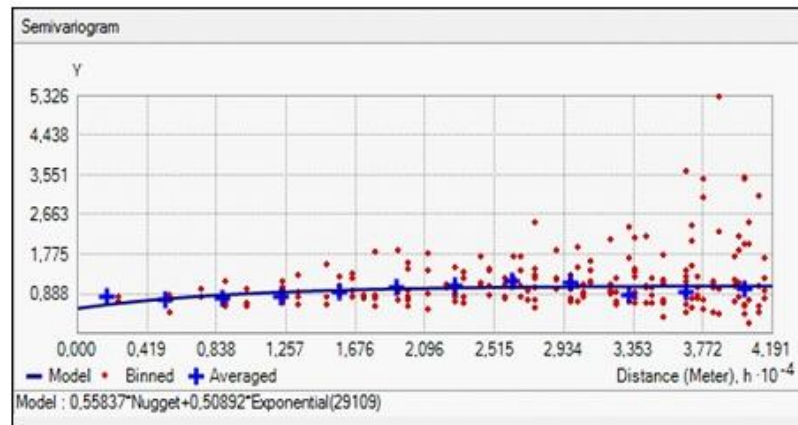
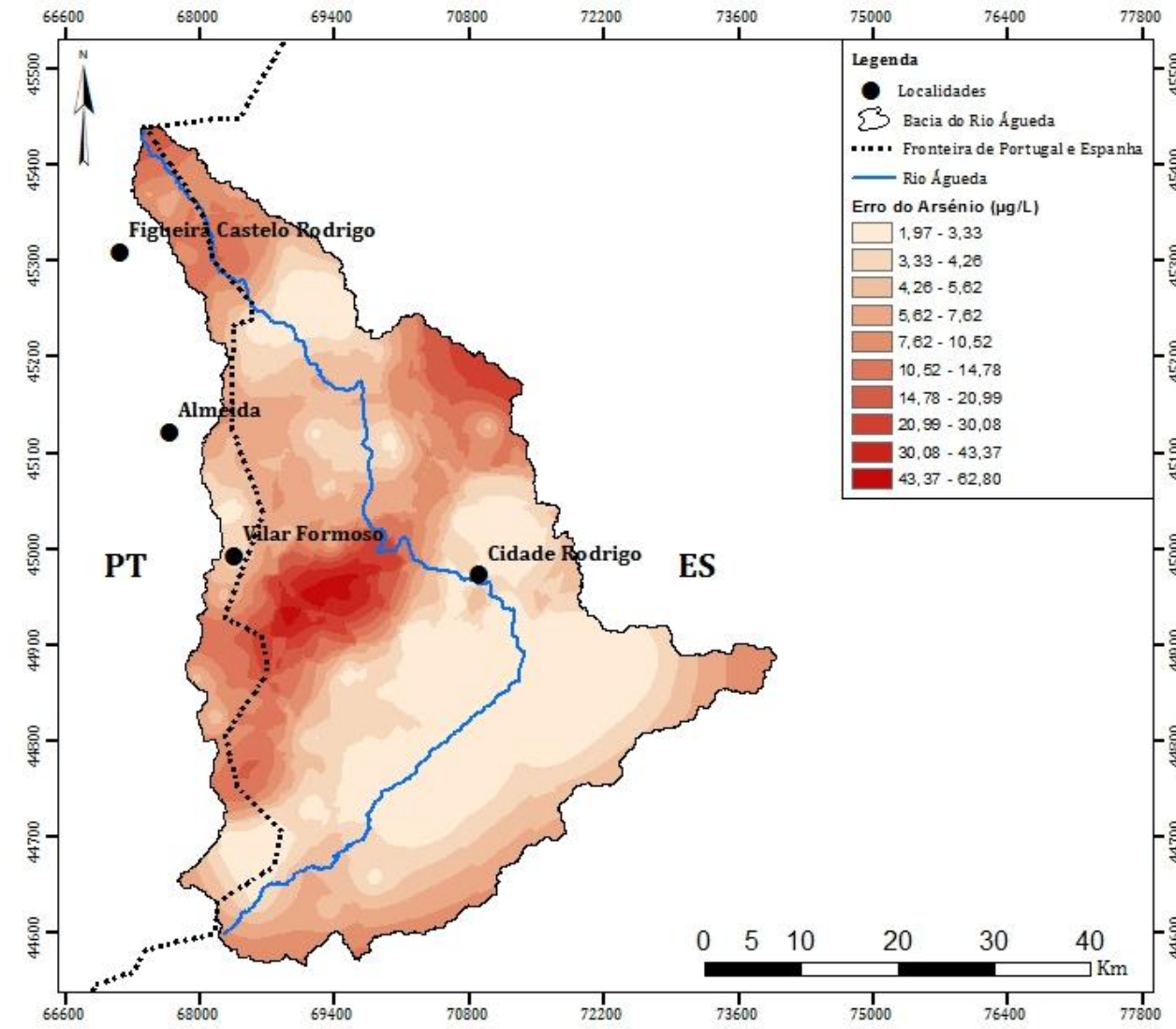
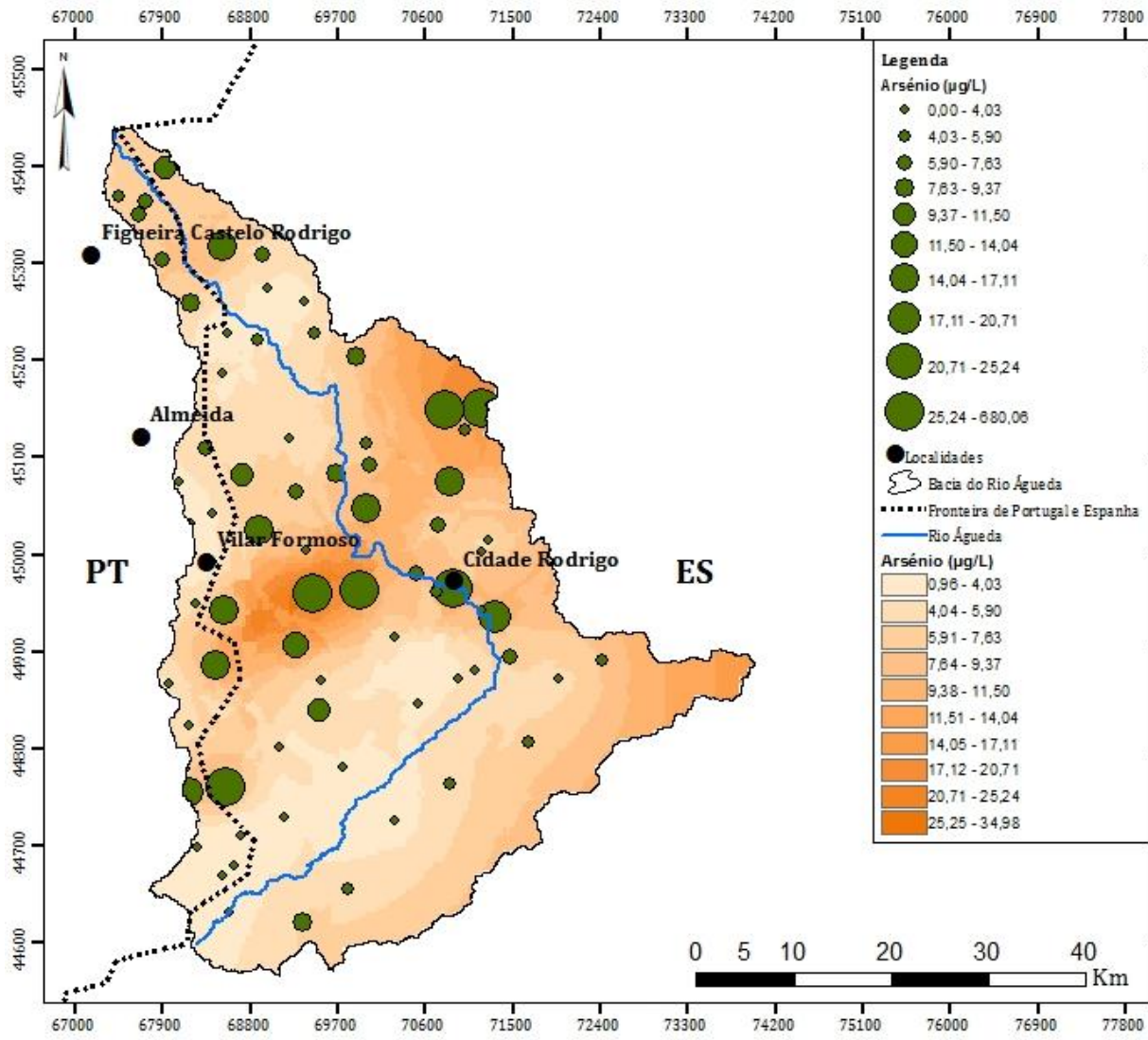
Cod_cap	X	Y	pH	CE	NaCl	ORP	DO	TDS	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	As	B	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	U
P76	689298,580195	4530992,170470	7,20	128,6	60,60	201,00	7,34	82,30	13,500	2,964	2,400	8,828	6,60	0,015	0,013	7,53	0,012	2,92	3,13	0,00000	6,39	0,061	0,60
P77	689677,584951	4527545,054200	7,11	182,3	86,50	210,00	6,55	117,0	15,105	4,106	0,267	16,166	2,01	0,011	0,009	9,11	0,005	1,58	6,08	0,00000	10,12	0,073	0,20
P78	693495,510940	4526063,931010	6,67	192,9	91,20	224,00	4,77	123,5	14,268	2,648	0,117	23,234	0,35	0,018	0,004	9,63	0,00000	0,49	6,01	0,027	10,08	0,081	0,10
P79	709972,635080	4512843,591289	7,24	134,4	63,70	240,00	7,6	86,4	30,092	10,007	0,155	6,872	5,44	0,013	0,037	8,14	0,00000	3,91	2,64	0,001	6,21	0,054	0,00
P80	708066,921536	4515001,980856	6,78	397,0	189,70	223,00	2,78	254	63,916	0,374	0,000	5,547	38,59	0,023	0,094	18,19	1,762	2,03	7,12	0,993	18,25	0,178	0,10
P81	698891,338140	4520360,495090	6,37	49,8	23,40	245,00	3,45	31,8	6,366	2,705	0,197	9,738	9,23	0,000	0,003	1,40	0,020	0,48	0,36	0,028	5,48	0,016	6,50
P82	694491,434873	4522869,481652	6,43	60,9	28,70	250,00	6,26	39,2	3,984	2,340	0,190	3,226	4,50	0,013	0,007	2,67	0,009	0,48	0,59	0,006	5,67	0,022	2,80
P83	707235,786330	4503094,208147	7,54	150,4	71,00	183,80	6,9	95,6	7,683	23,234	0,149	3,599	6,13	0,019	0,022	11,21	0,000	0,56	4,08	0,002	8,32	0,080	0,80
P84	712502,837095	4501450,229343	7,13	105,0	49,40	227,00	2,07	67,2	6,129	0,221	0,000	3,269	1,01	0,016	0,112	5,26	0,000	1,04	4,53	0,714	4,38	0,058	0,20
P85	719745,619295	4487298,995569	6,46	263,0	125,60	249,00	8,8	169,5	16,505	2,833	0,000	70,860	0,00	0,000	0,034	9,39	0,009	0,30	11,97	0,023	10,60	0,071	0,30
P86	711830,193425	4515121,042983	7,97	444,0	212,00	162,00	2,51	285	45,392	0,241	0,026	5,476	95,86	0,076	0,010	6,27	0,00000	1,17	2,36	0,011	39,16	0,086	10,40
P87	709444,438031	4487223,595616	7,04	130,9	61,30	207,00	4,61	83,7	3,640	12,002	0,038	23,872	3,71	0,013	0,005	9,18	0,00000	0,40	3,68	0,002	5,81	0,125	0,10
P88	705175,624105	4484626,369432	7,41	535,0	259,00	220,00	4,52	345	56,440	2,135	0,000	113,22	2,16	0,040	0,009	27,72	0,008	19,16	14,65	0,104	14,05	0,207	0,00
P89	691463,223462	4472941,888269	6,42	184,4	87,40	246,00	3,98	117,9	20,195	6,422	0,462	5,433	0,86	0,056	0,007	8,92	0,00000	1,90	4,21	0,091	12,08	0,064	1,60
P90	695308,142777	4487036,974143	6,87	306,0	144,00	226,00	7,46	195,1	16,230	67,850	3,128	11,775	0,79	0,042	0,031	23,08	0,00000	3,52	4,89	0,002	7,25	0,151	0,40
P91	702904,785157	4491491,720808	8,83	170,5	80,70	113,20	15,64	109,5	16,653	20,002	0,043	8,082	1,27	0,010	0,006	10,73	0,007	2,34	4,55	0,001	8,97	0,061	0,60
P92	685832,985991	4463198,003632	6,24	30,2	13,85	271,00	5,85	19,28	1,677	1,640	0,000	1,253	2,14	0,011	0,0000	1,63	0	0,31	0,71	0,003	1,69	0,021	0,00
P93	693401,900141	4462147,616905	6,71	124,7	58,80	258,00	6,61	79	7,809	23,117	0,131	14,288	8,67	0,027	0,026	5,53	0	9,52	1,46	0,003	4,65	0,050	0,00
P94	698078,965128	4465508,476742	6,41	99,4	46,30	254,00	5,28	63,6	5,213	12,060	0,079	9,691	4,63	0,030	0,012	4,81	0	7,80	1,34	0,000	3,21	0,030	0,20
P95	702785,452663	4472540,815828	6,56	76,4	36,00	255,00	2,85	49,3	4,522	3,617	0,000	12,888	0,00	0,000	0,001	3,12	0,014	1,25	2,68	0,058	3,29	0,028	0,00





## **Anexo IX- Mapas de distribuição espacial de teores, variogramas e mapas de erro seleccionados na bacia hidrográfica do rio Águeda**





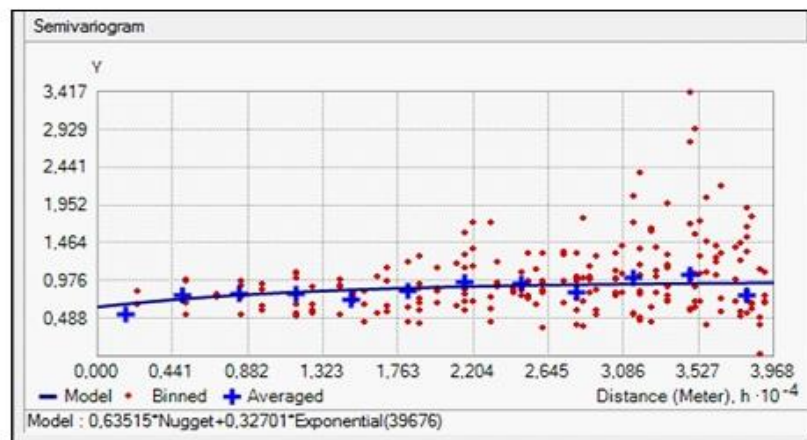
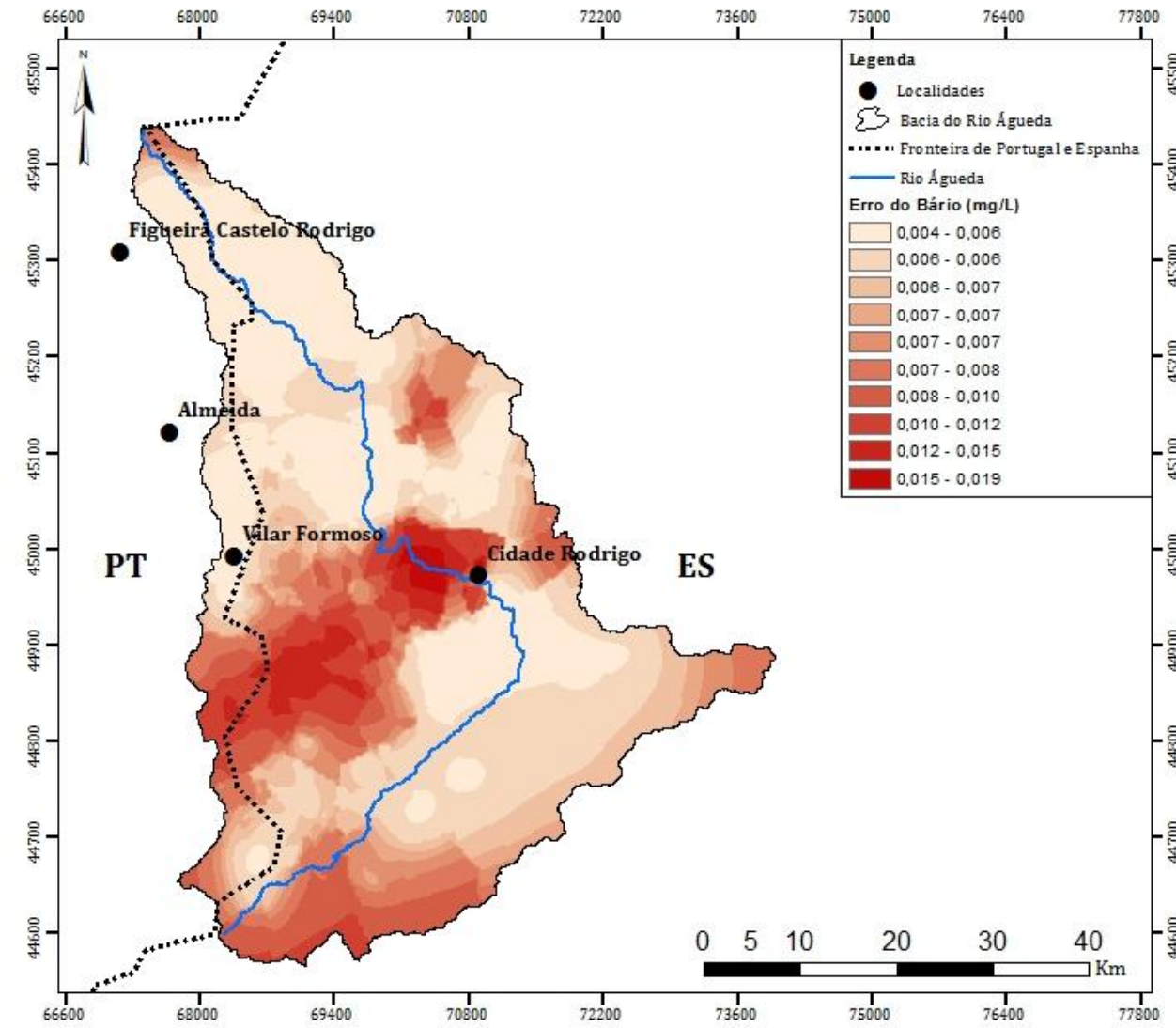
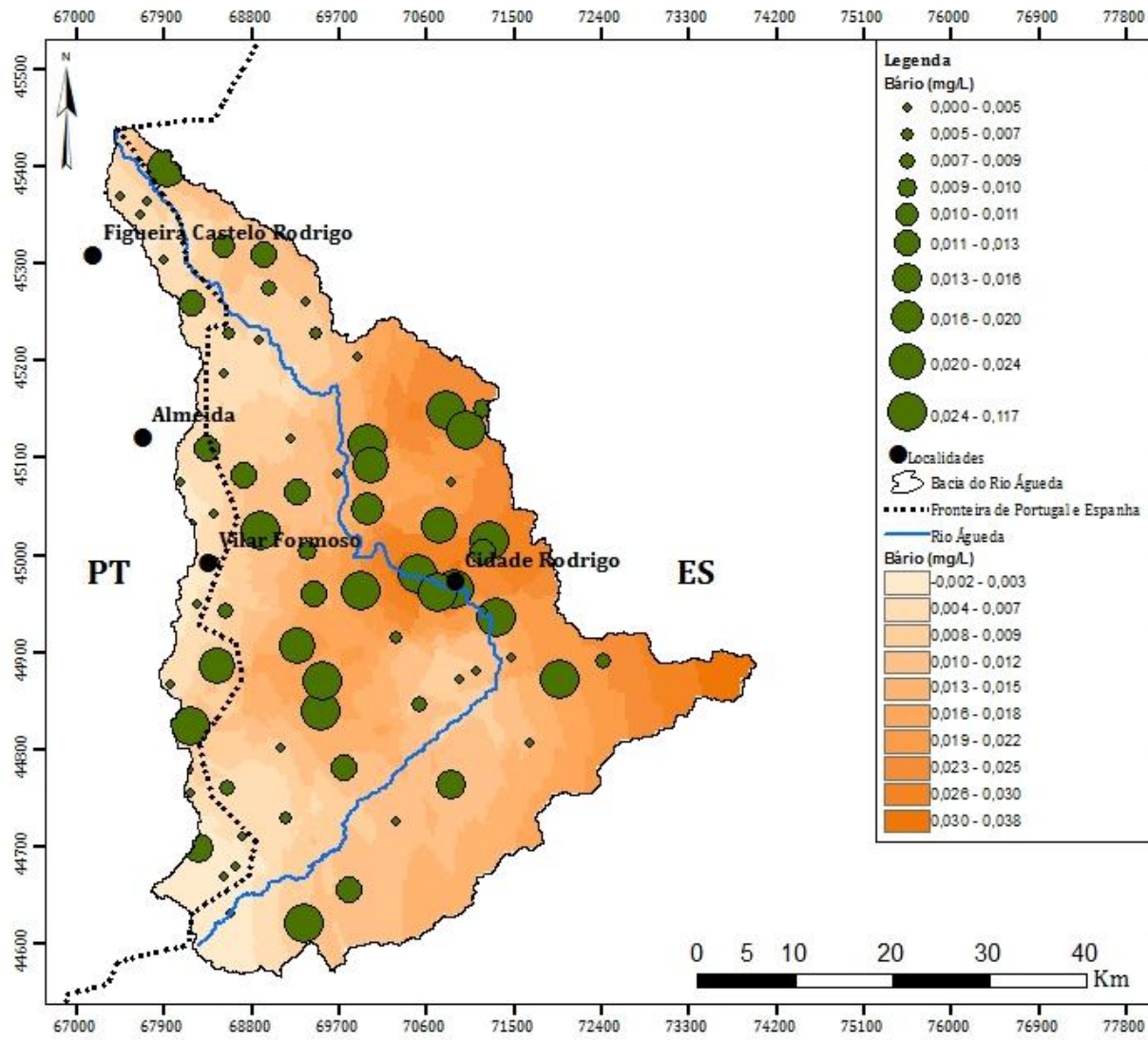
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Arsénio -**





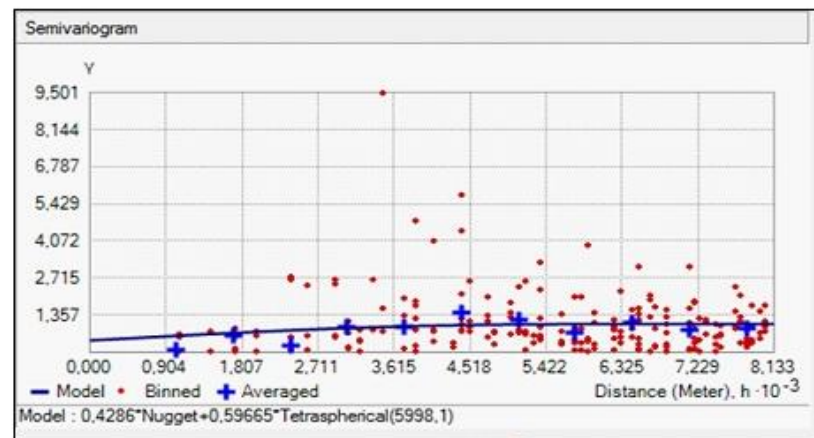
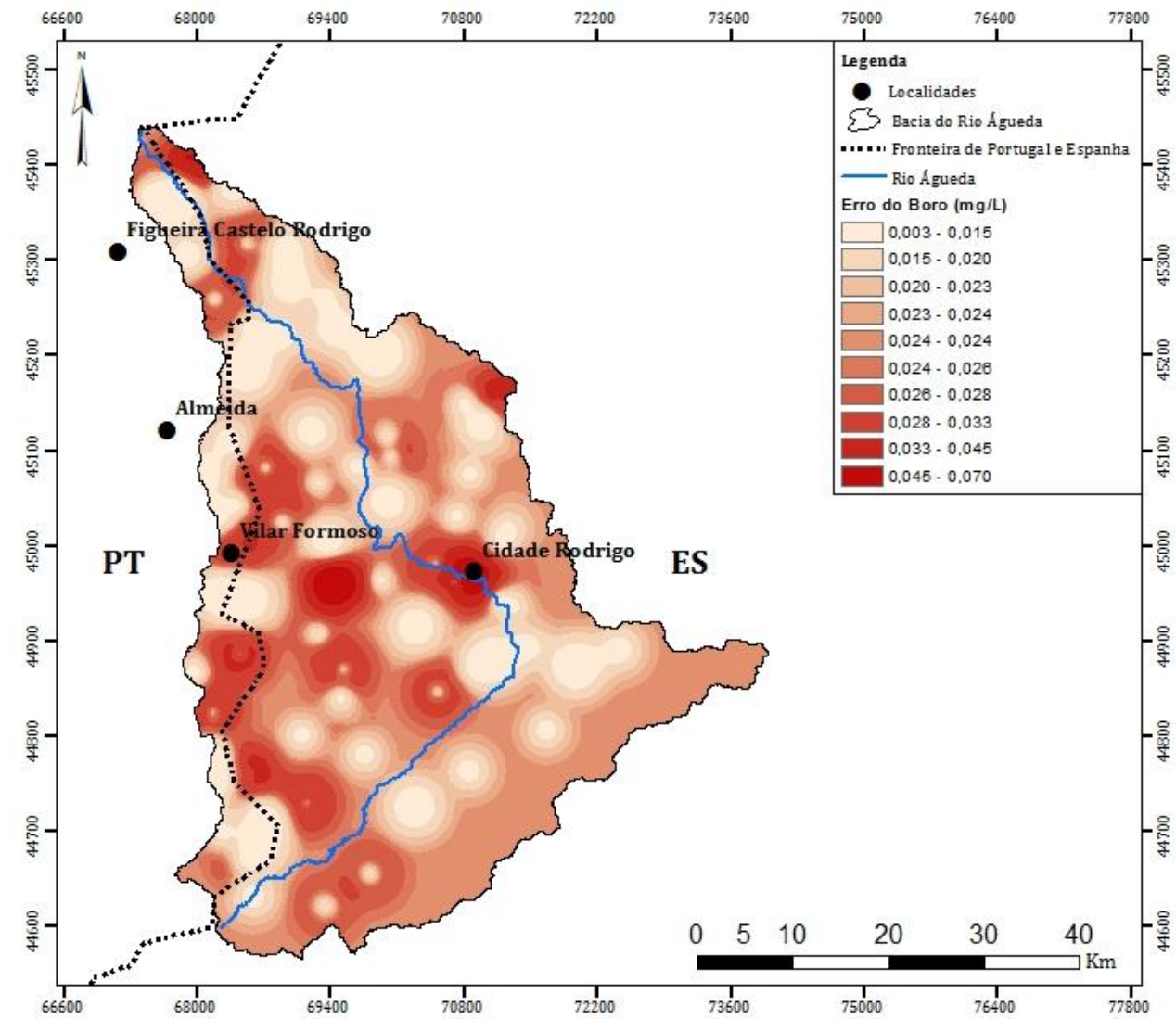
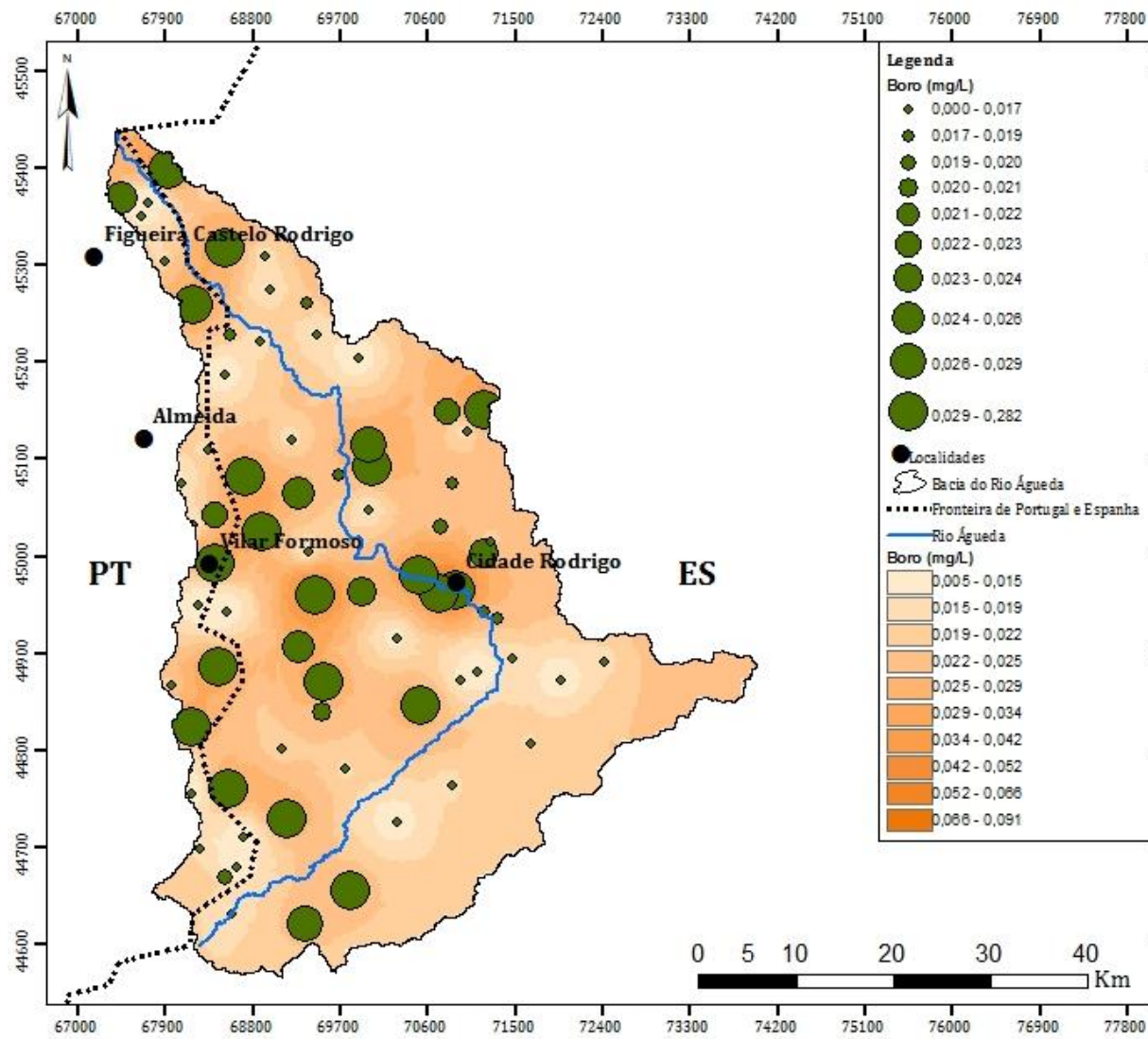
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



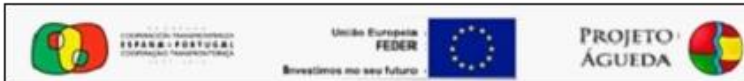
**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Bário-**





Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

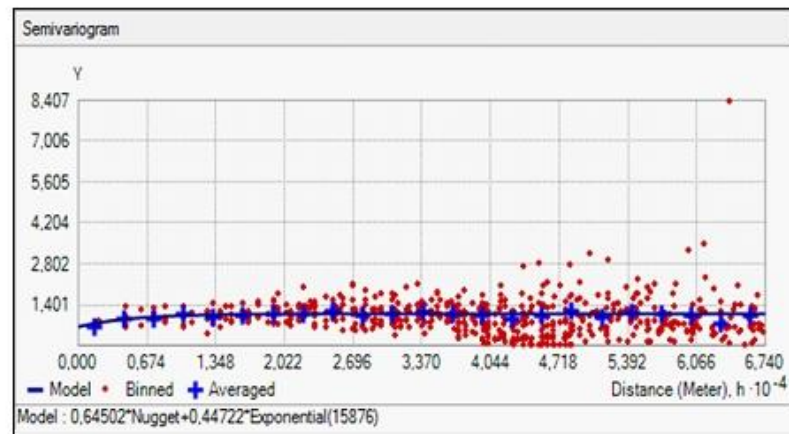
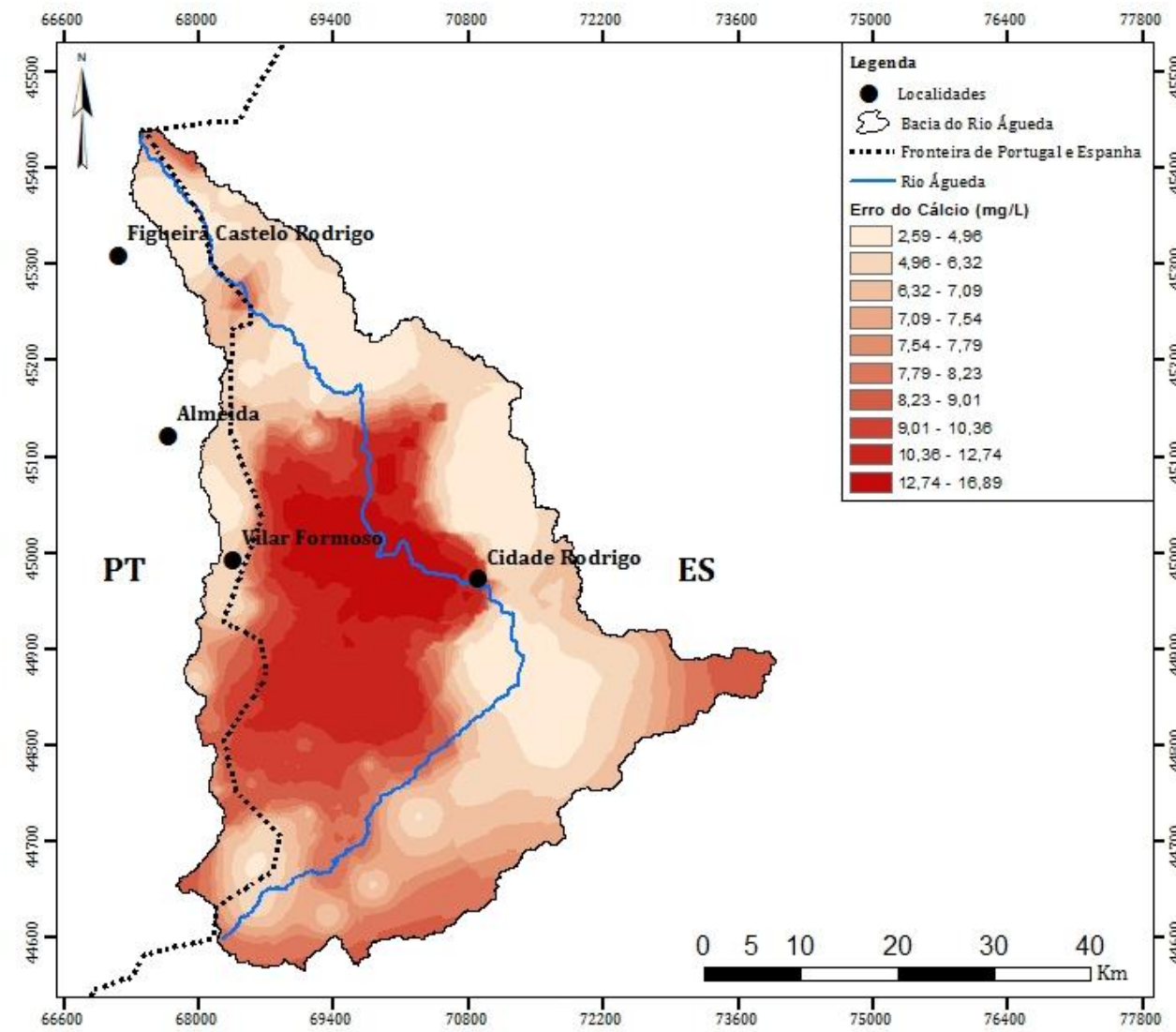
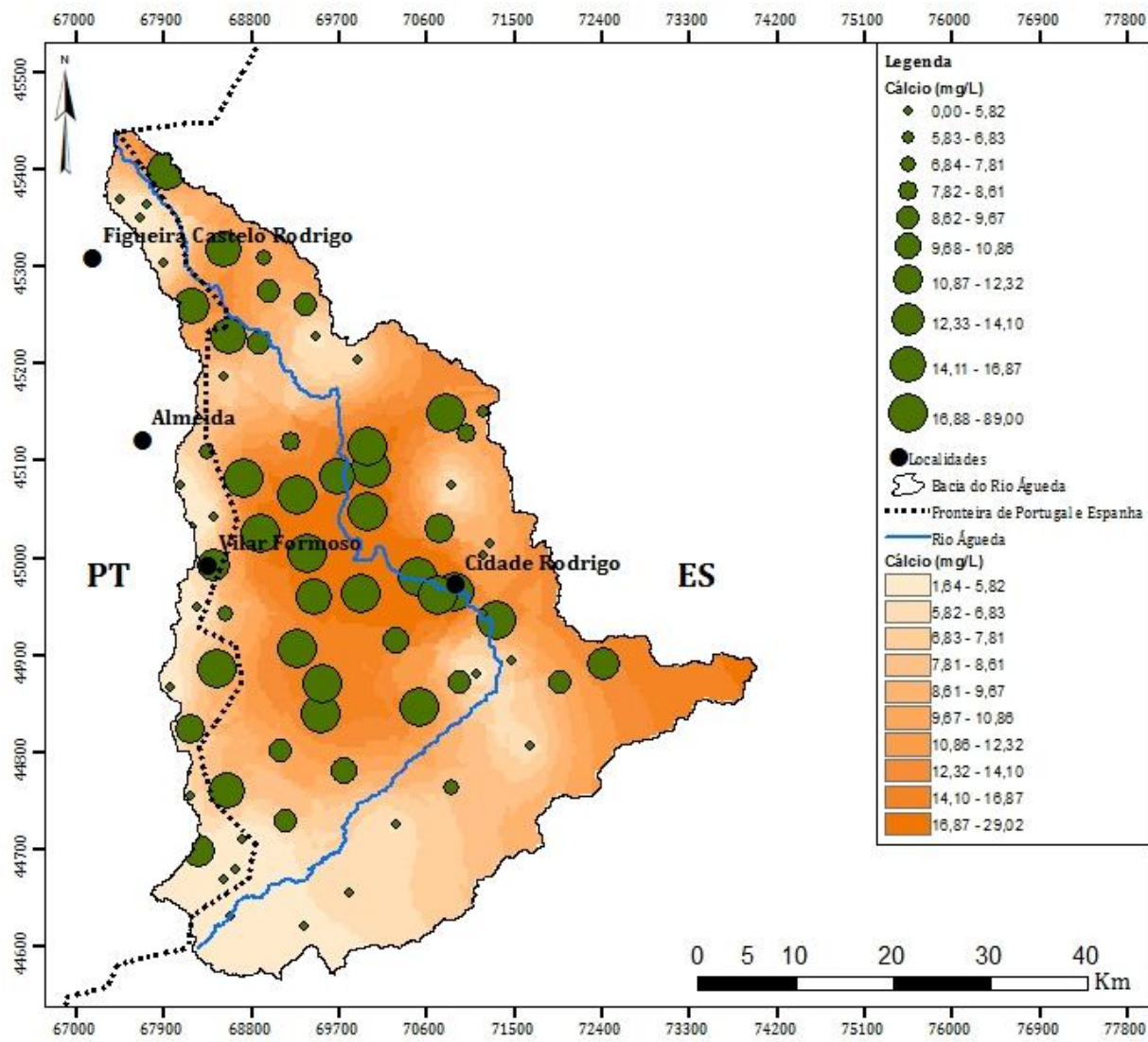
Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Boro-**







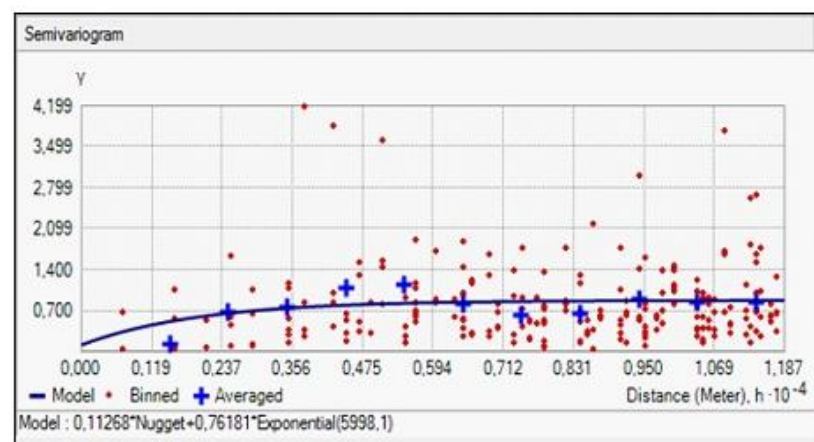
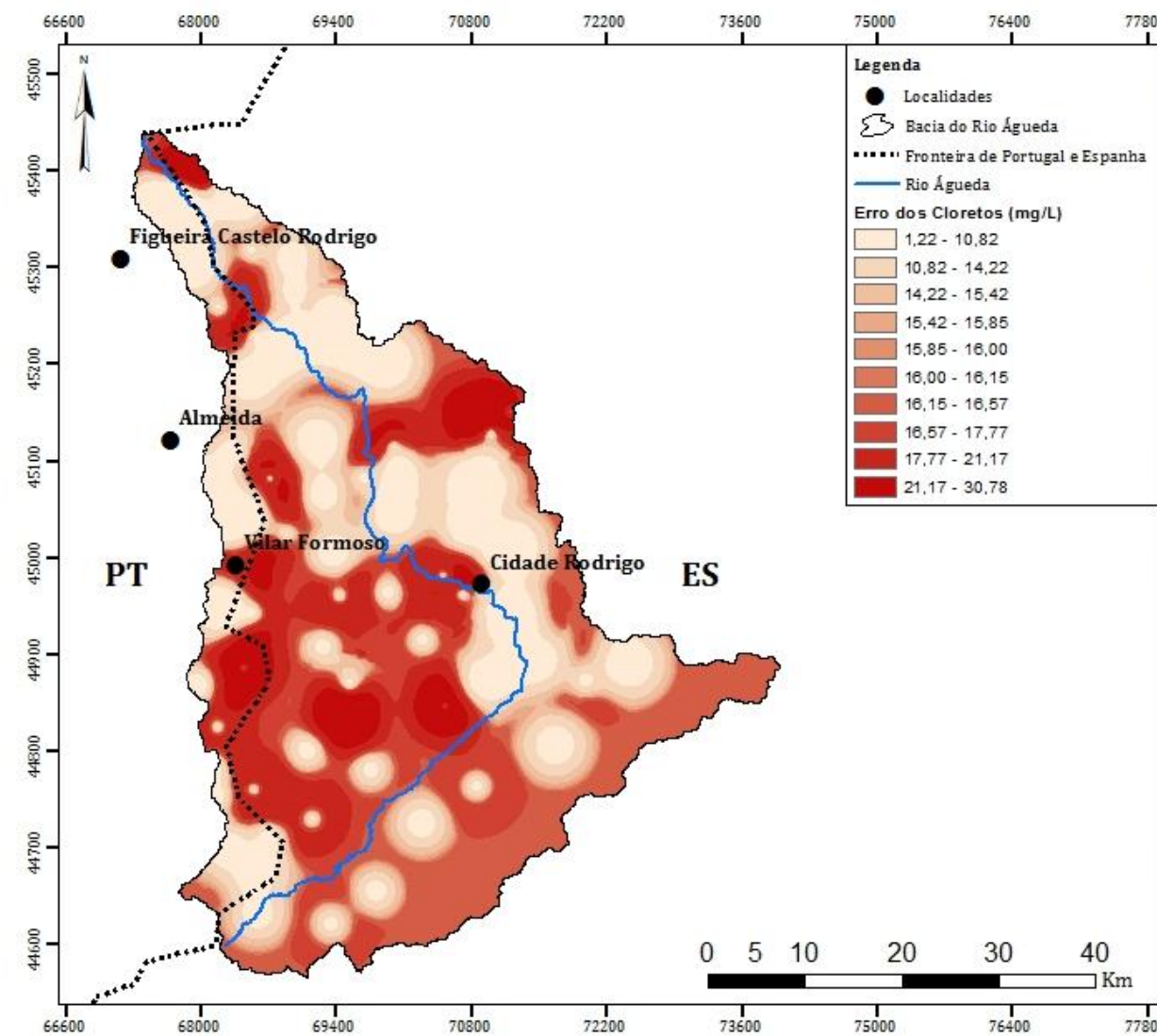
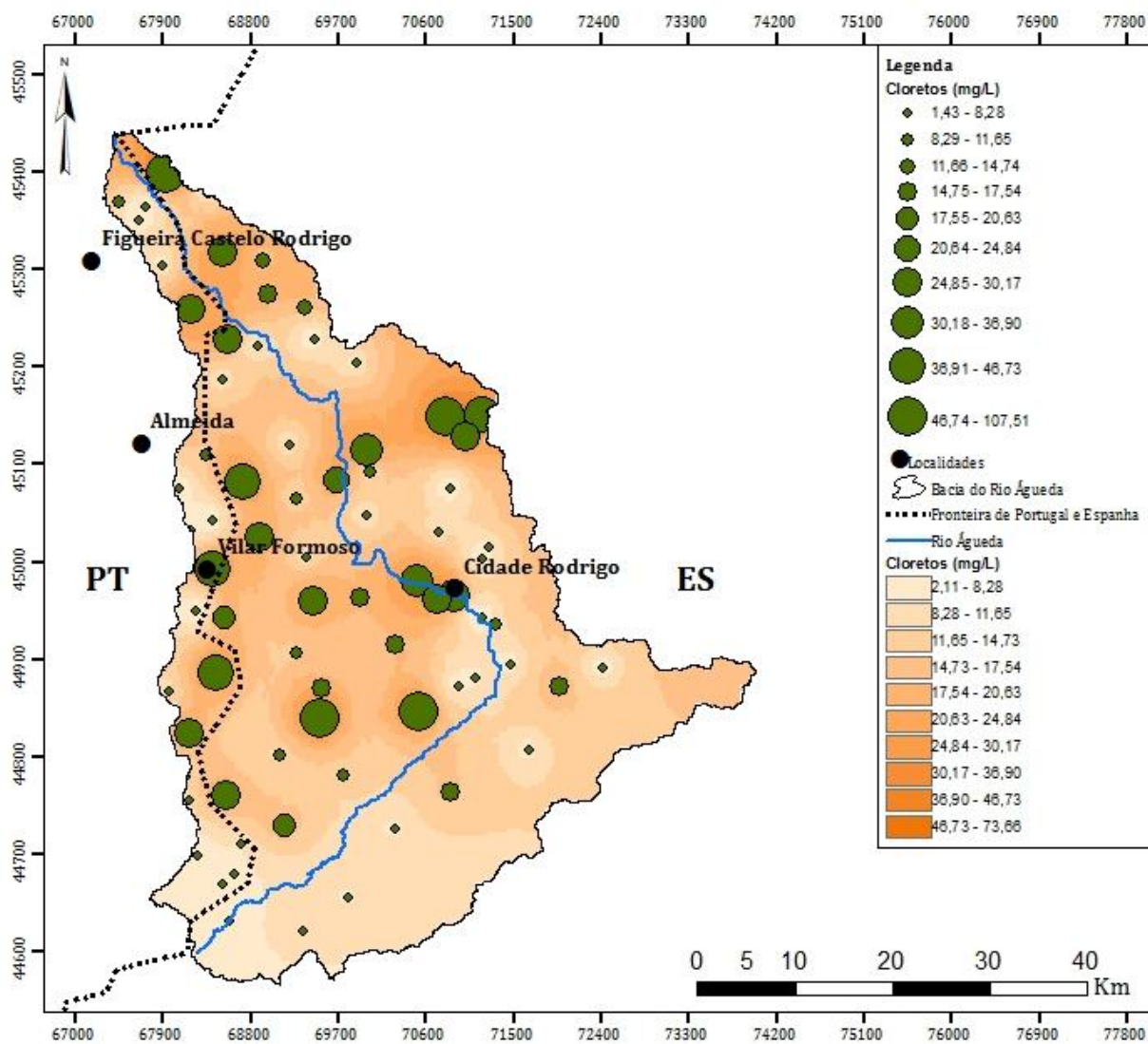
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Cálcio -**





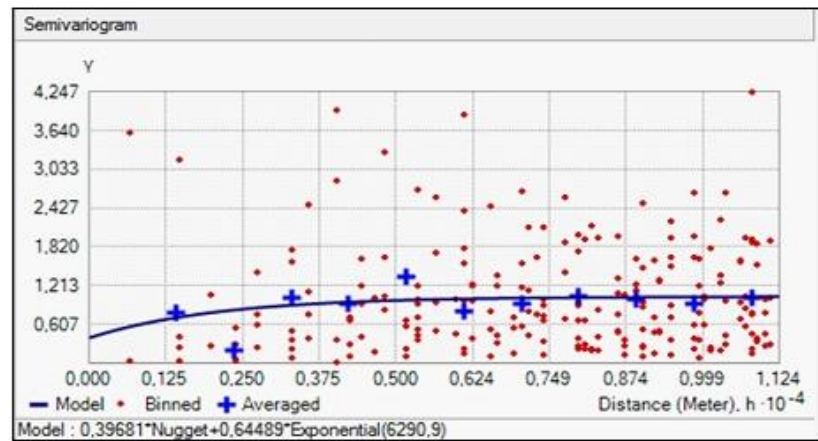
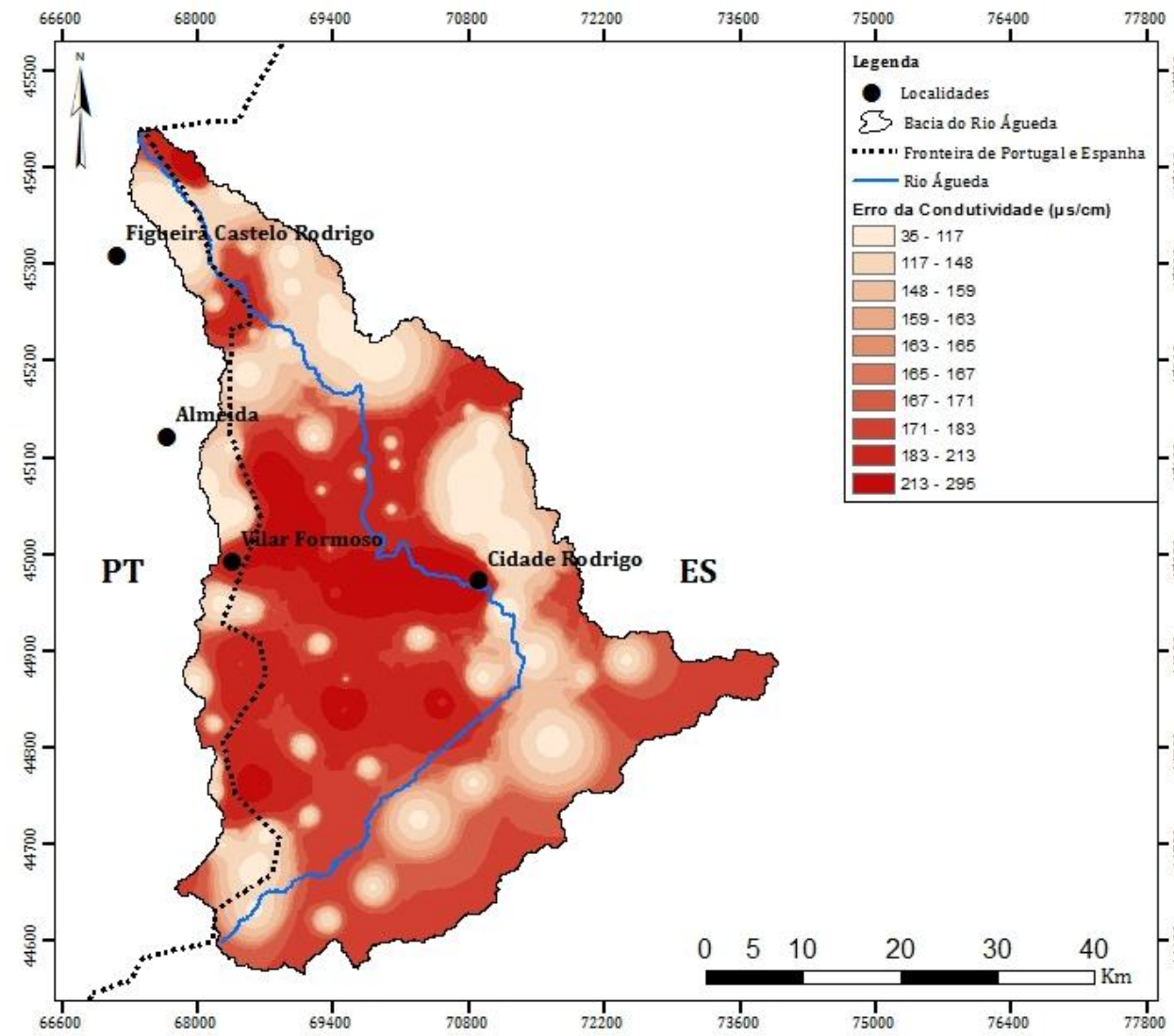
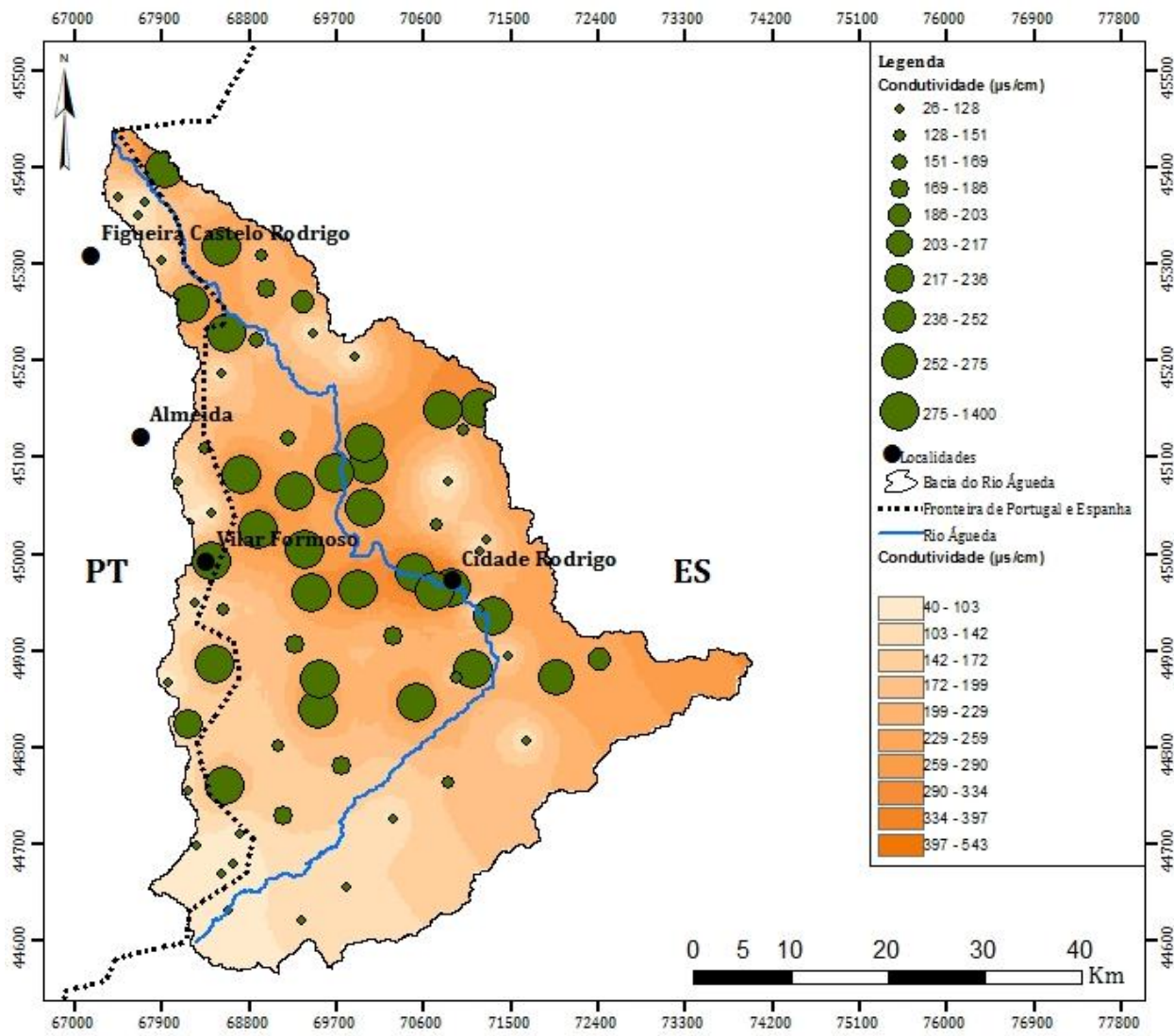
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Cloretos -**





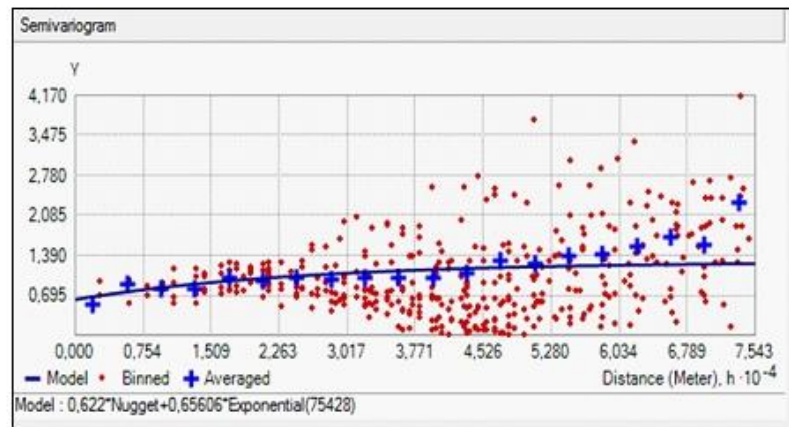
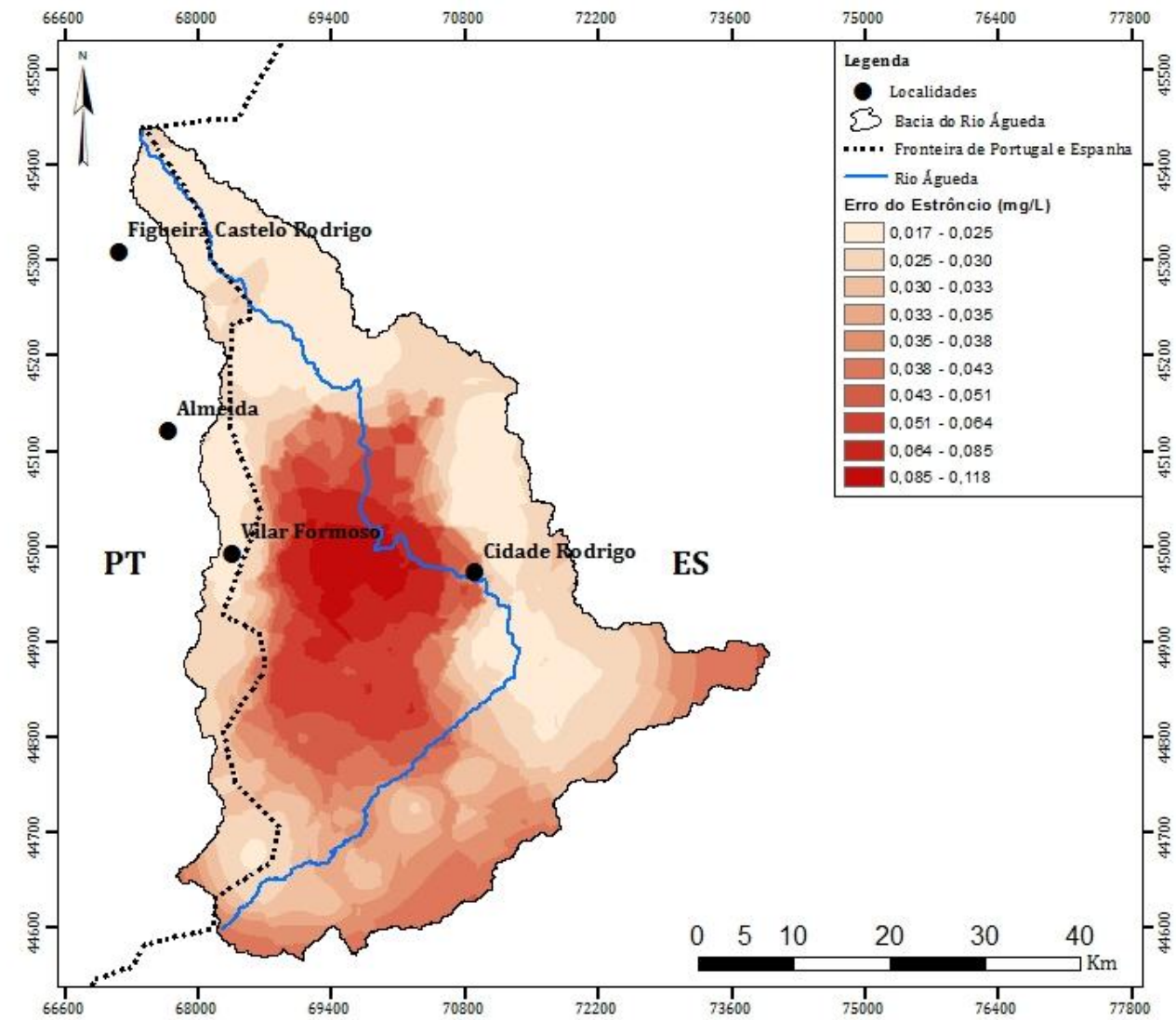
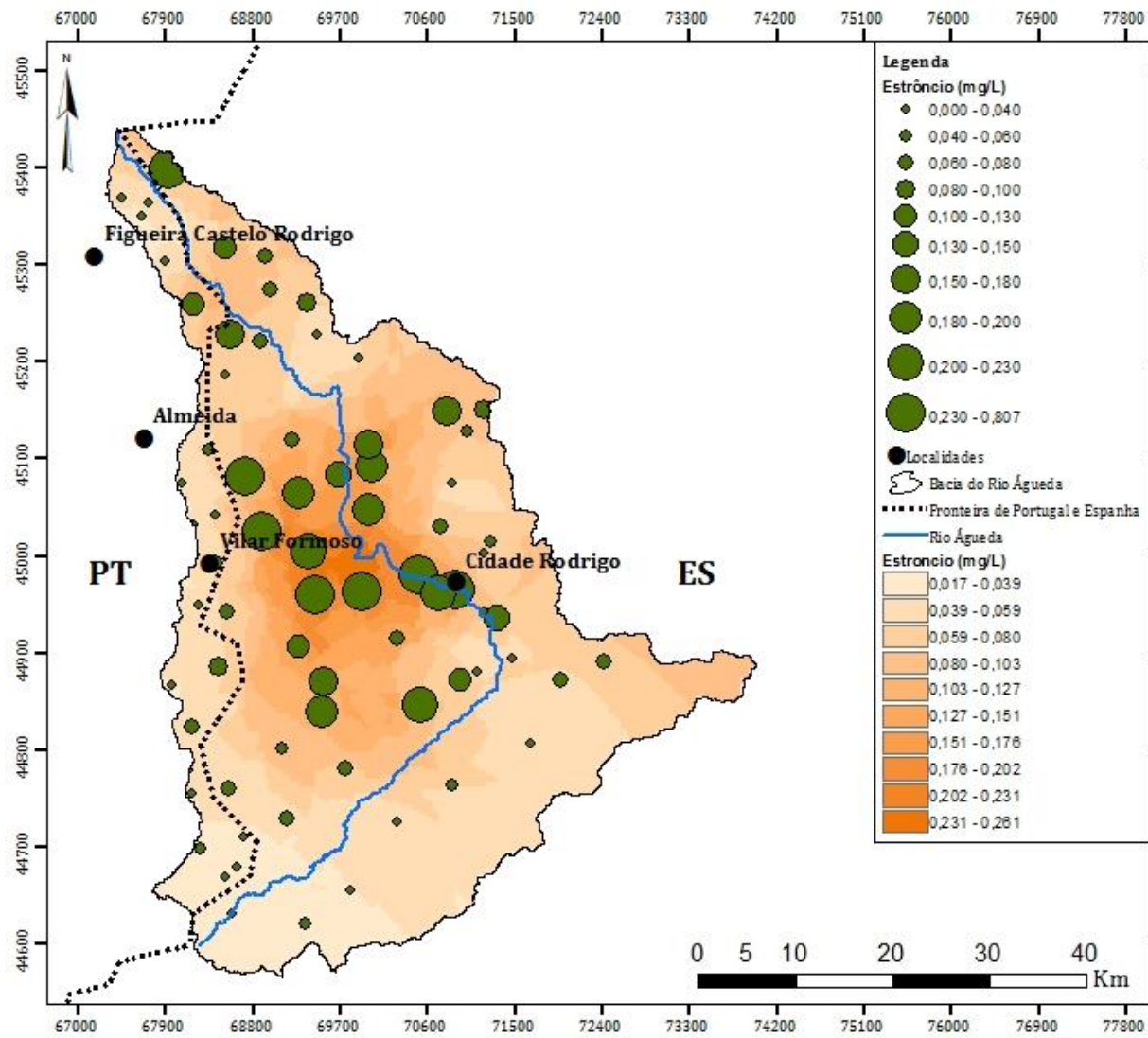
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Condutividade Elétrica-**





**Projeção: Transverse Mercator**  
**Datum: D\_ETRS\_1989**  
**Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N**

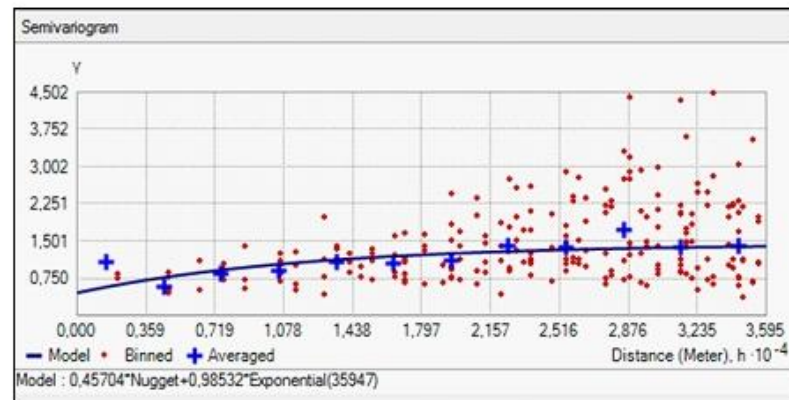
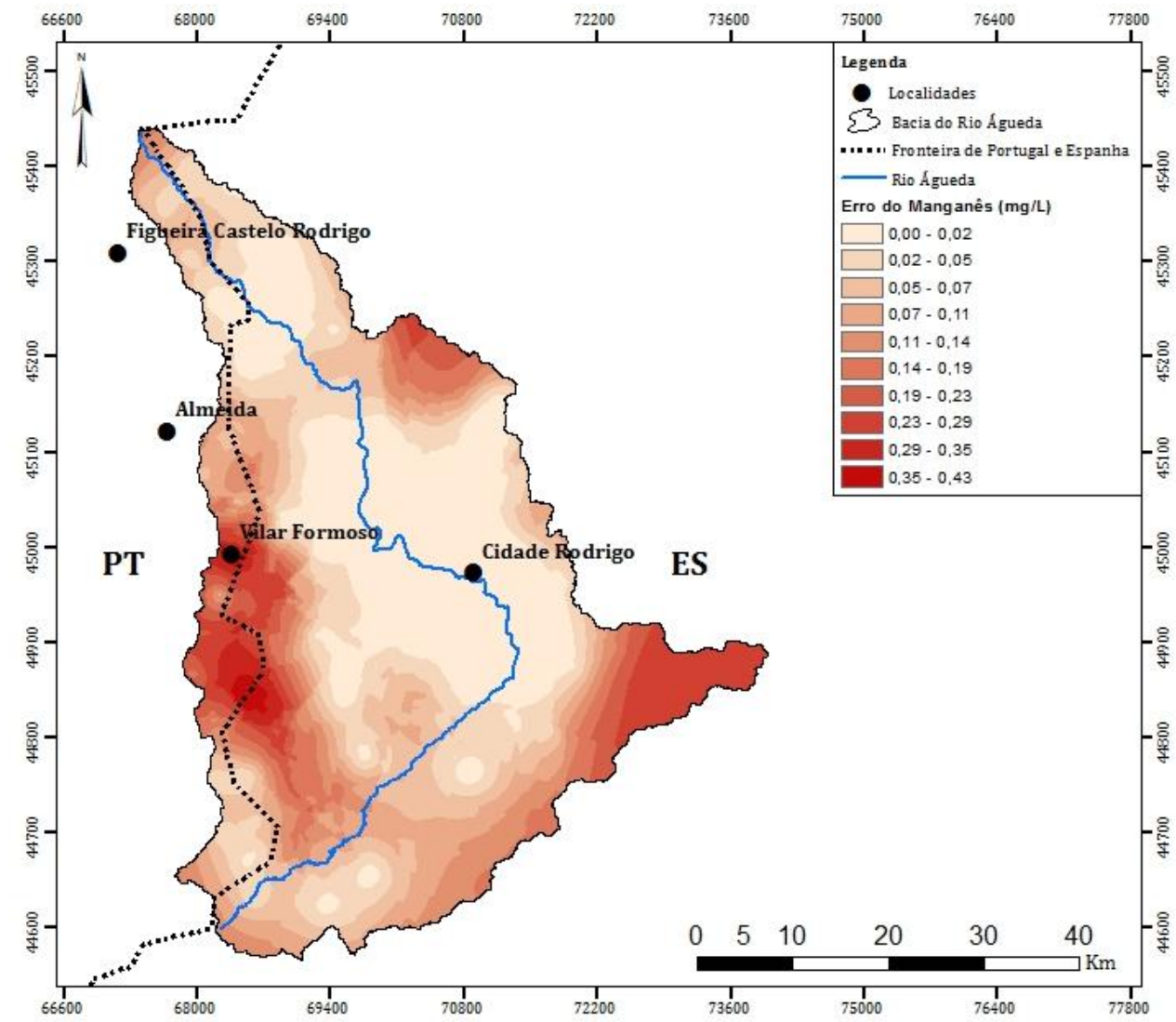
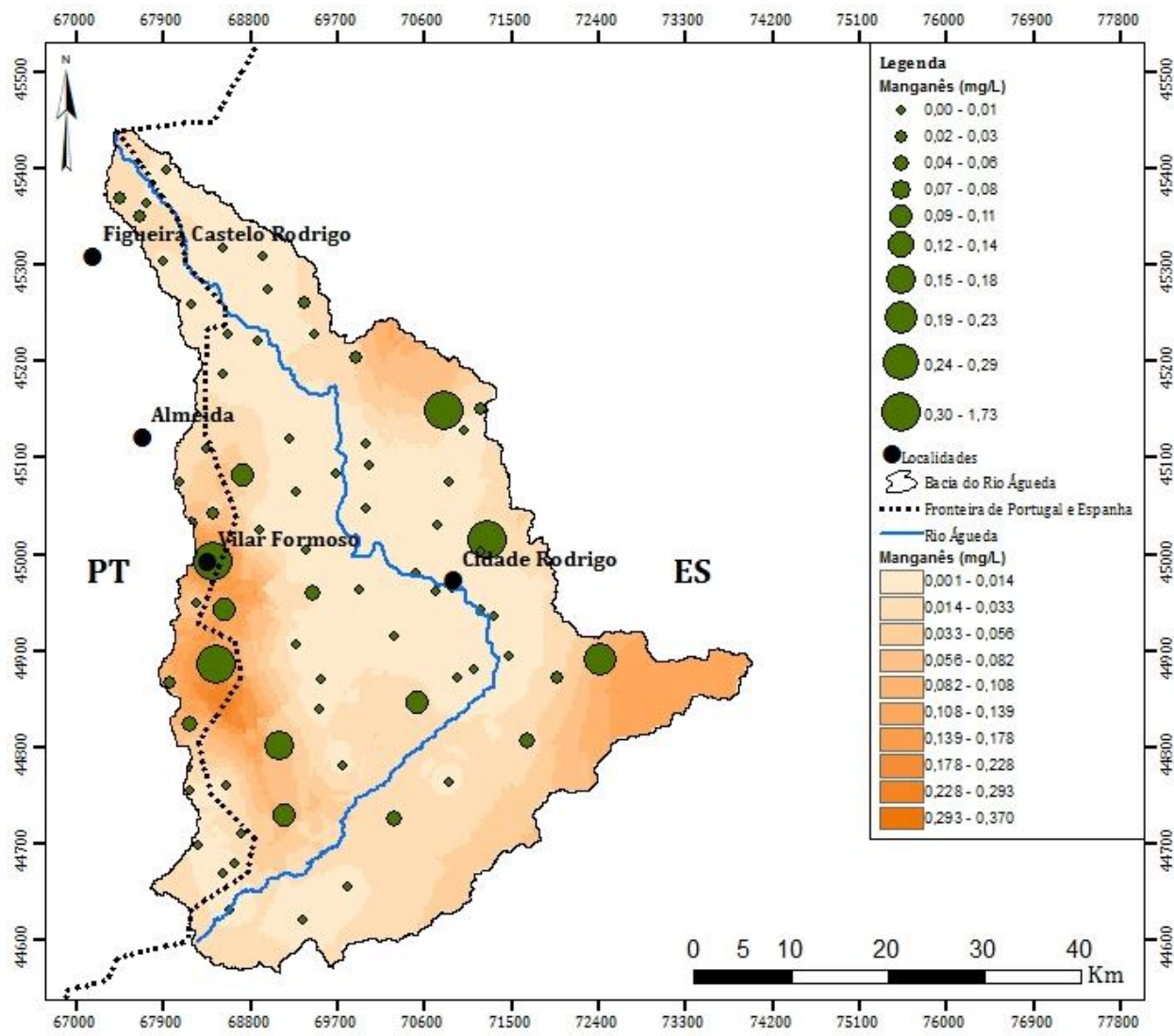
**Elaborado por: Fátima Seco**  
**Data da elaboração: novembro de 2013**



**Mapa de Concentrações**  
**e**  
**Mapa de Erro**  
**- Estrôncio -**







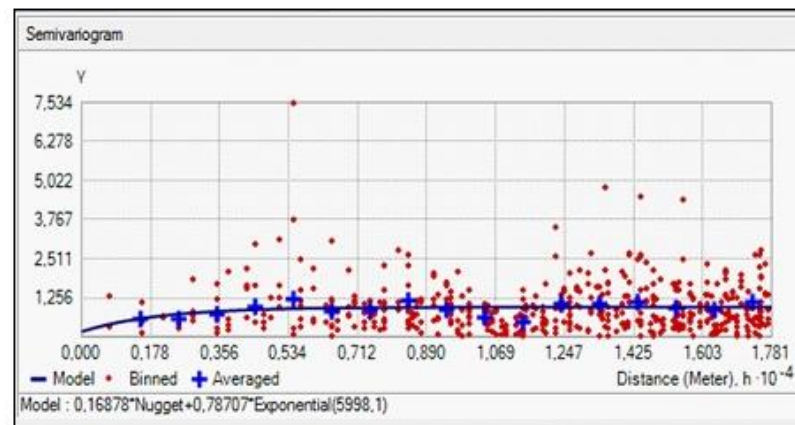
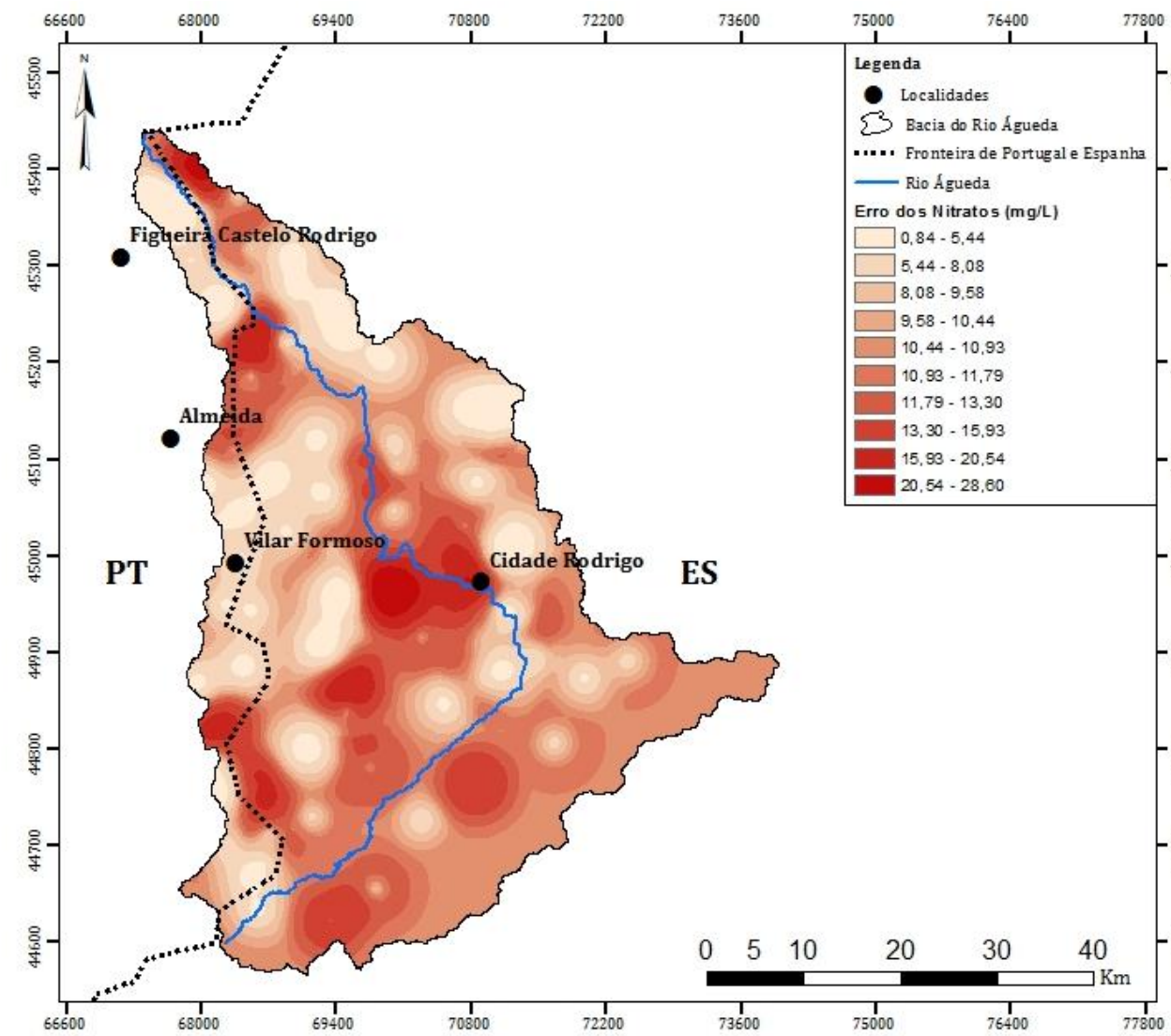
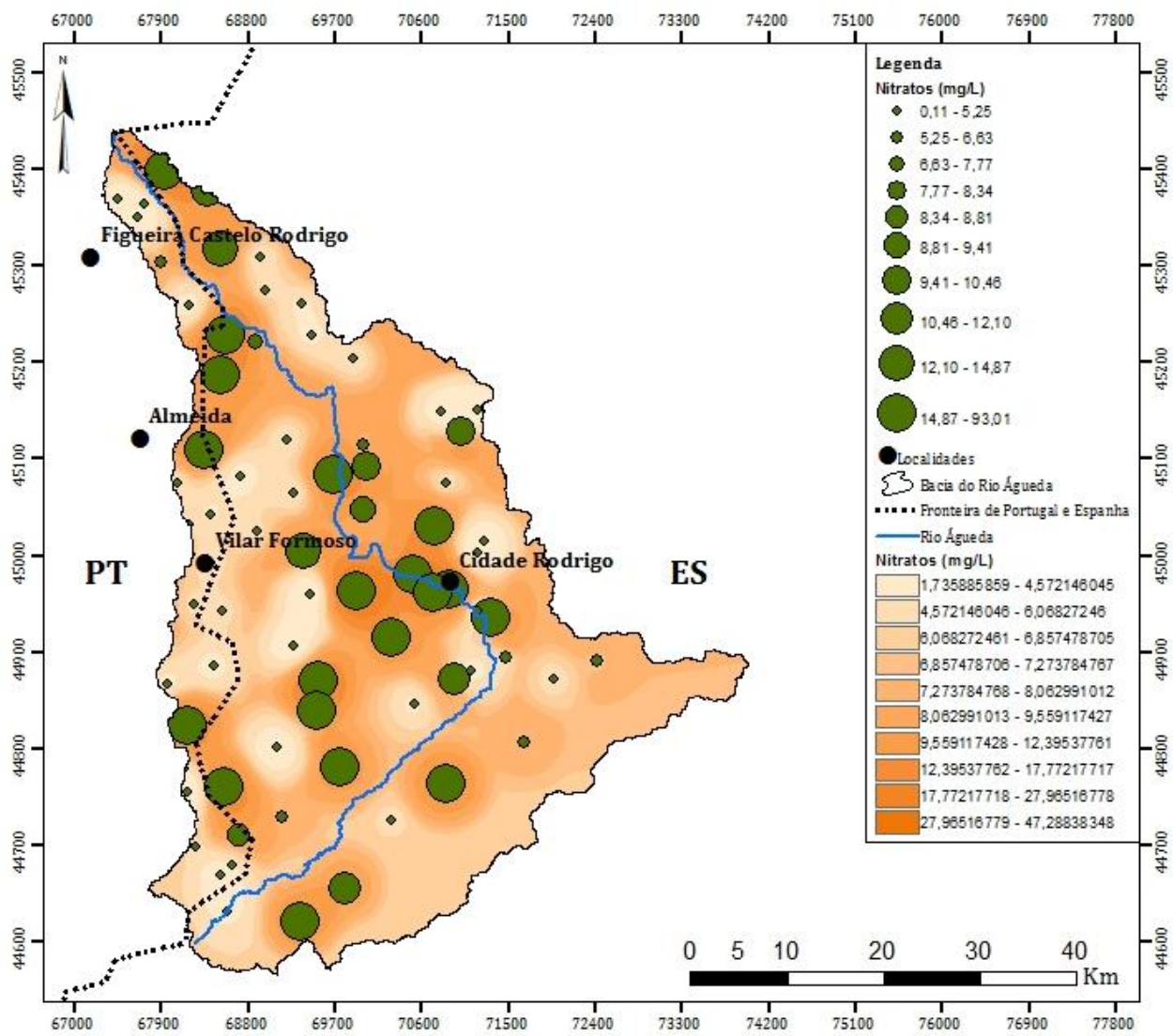
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum:D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Manganês -**





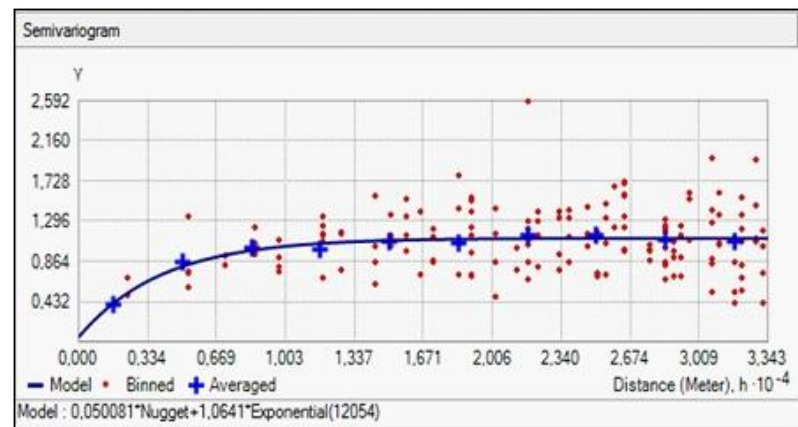
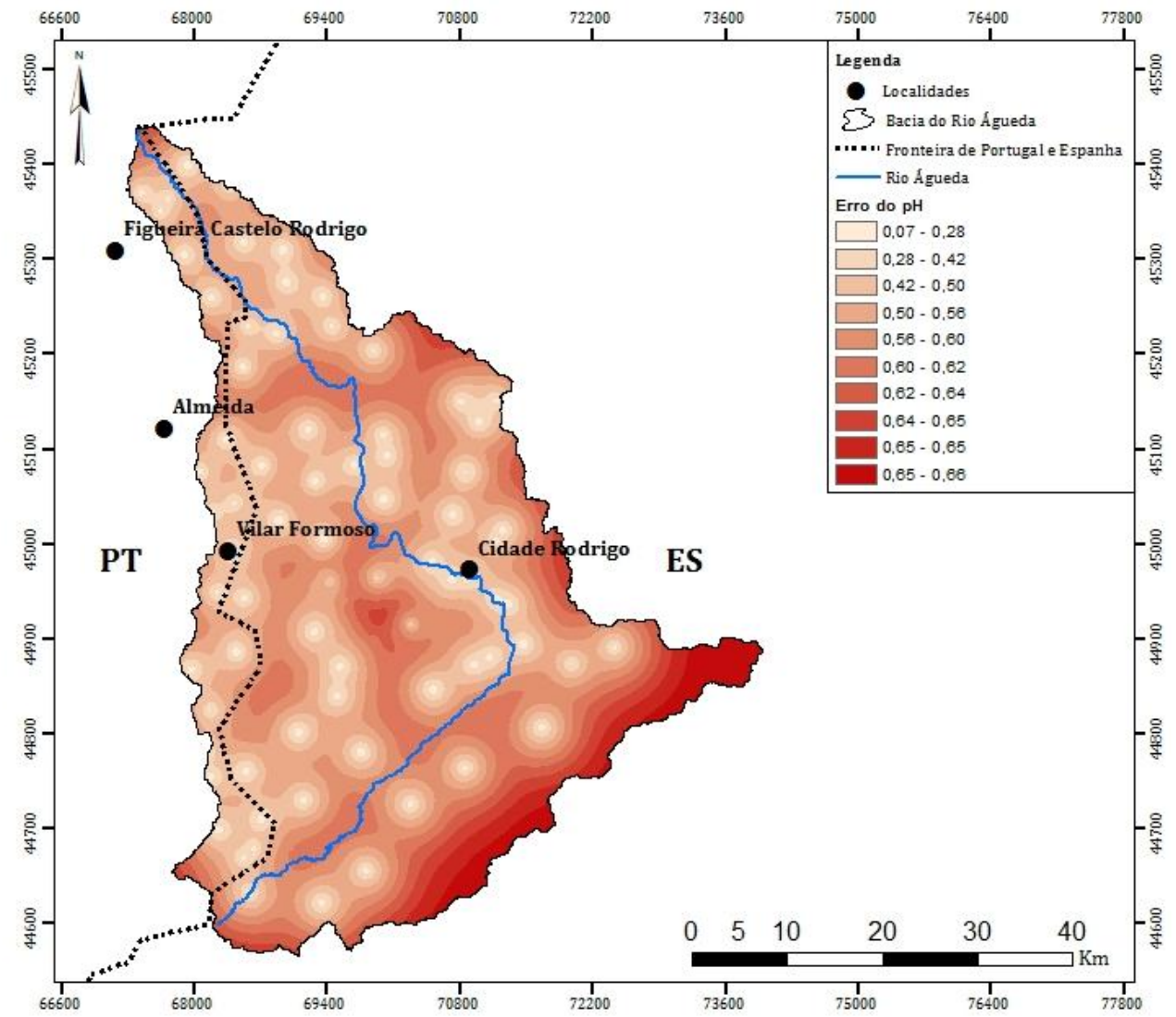
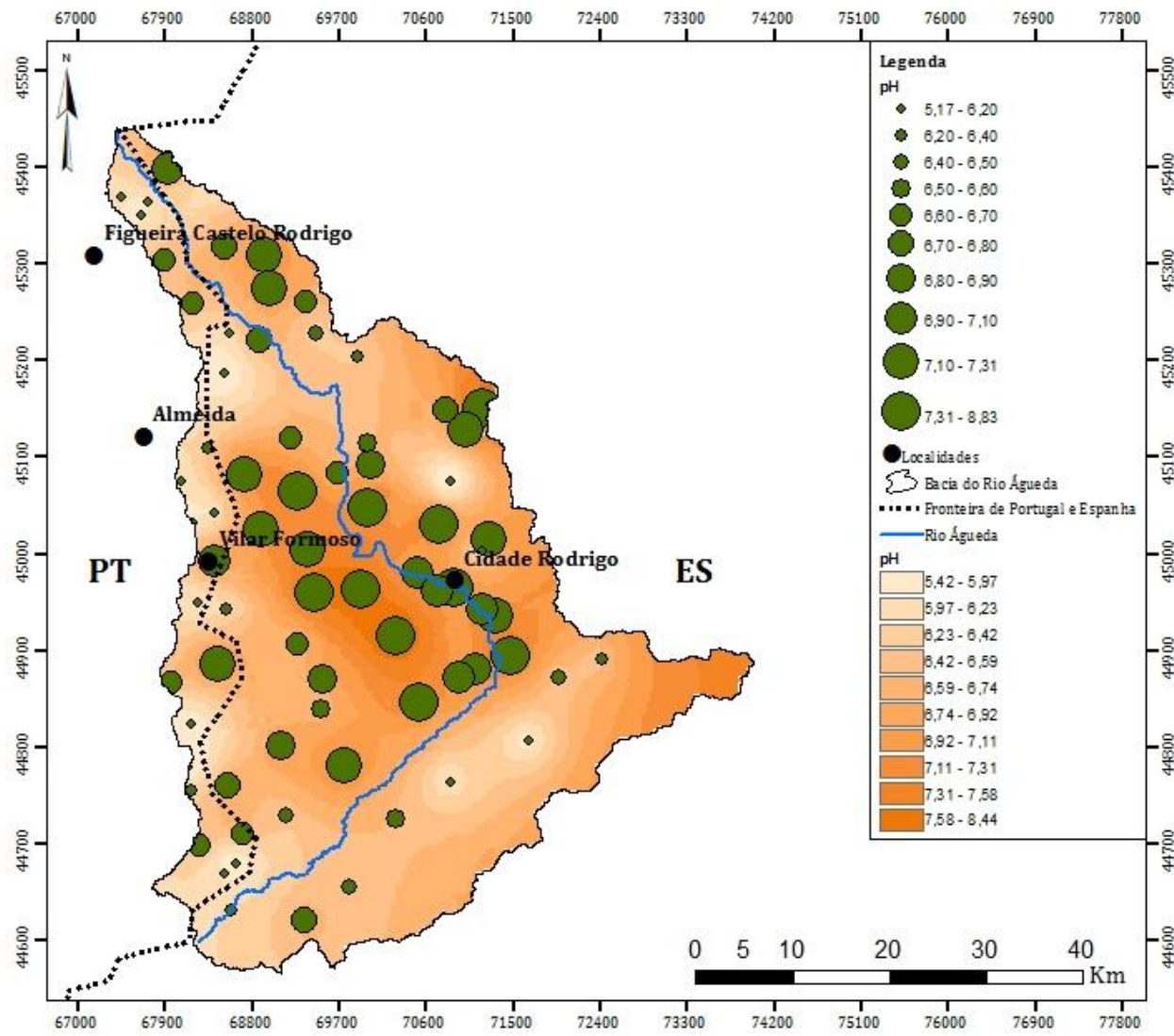
**Projeção: Transverse Mercator**  
**Datum:D\_ETRS\_1989**  
**Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N**

**Elaborado por: Fátima Seco**  
**Data da elaboração: novembro de 2013**



**Mapa de Concentrações**  
**e**  
**Mapa de Erro**  
**- Nitratos -**





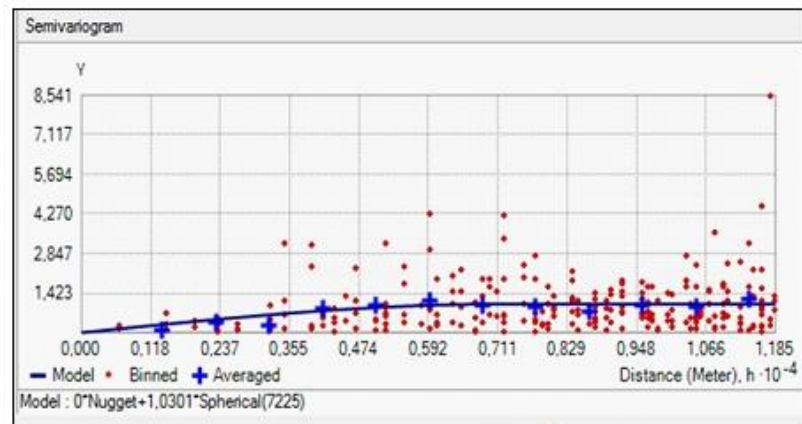
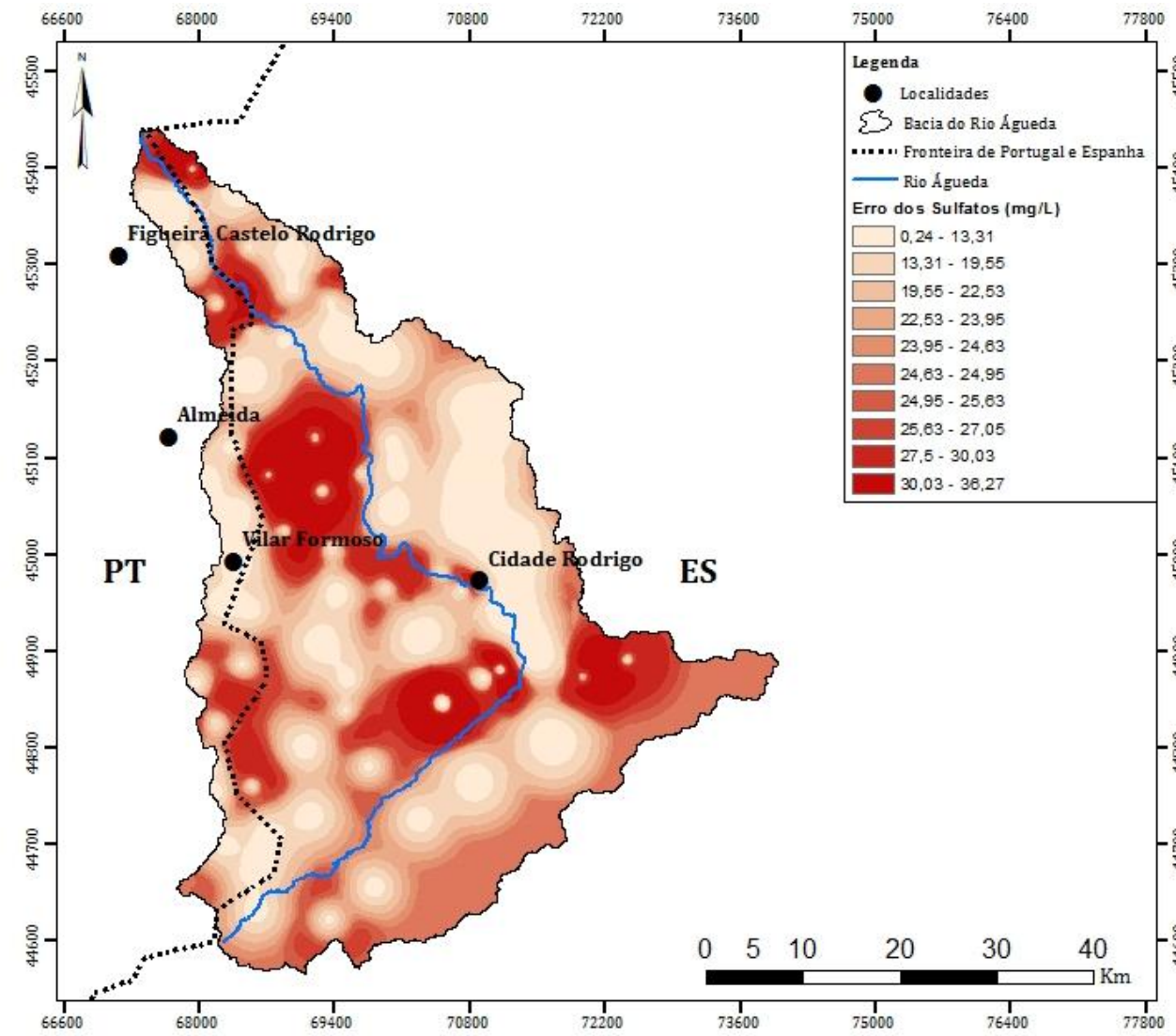
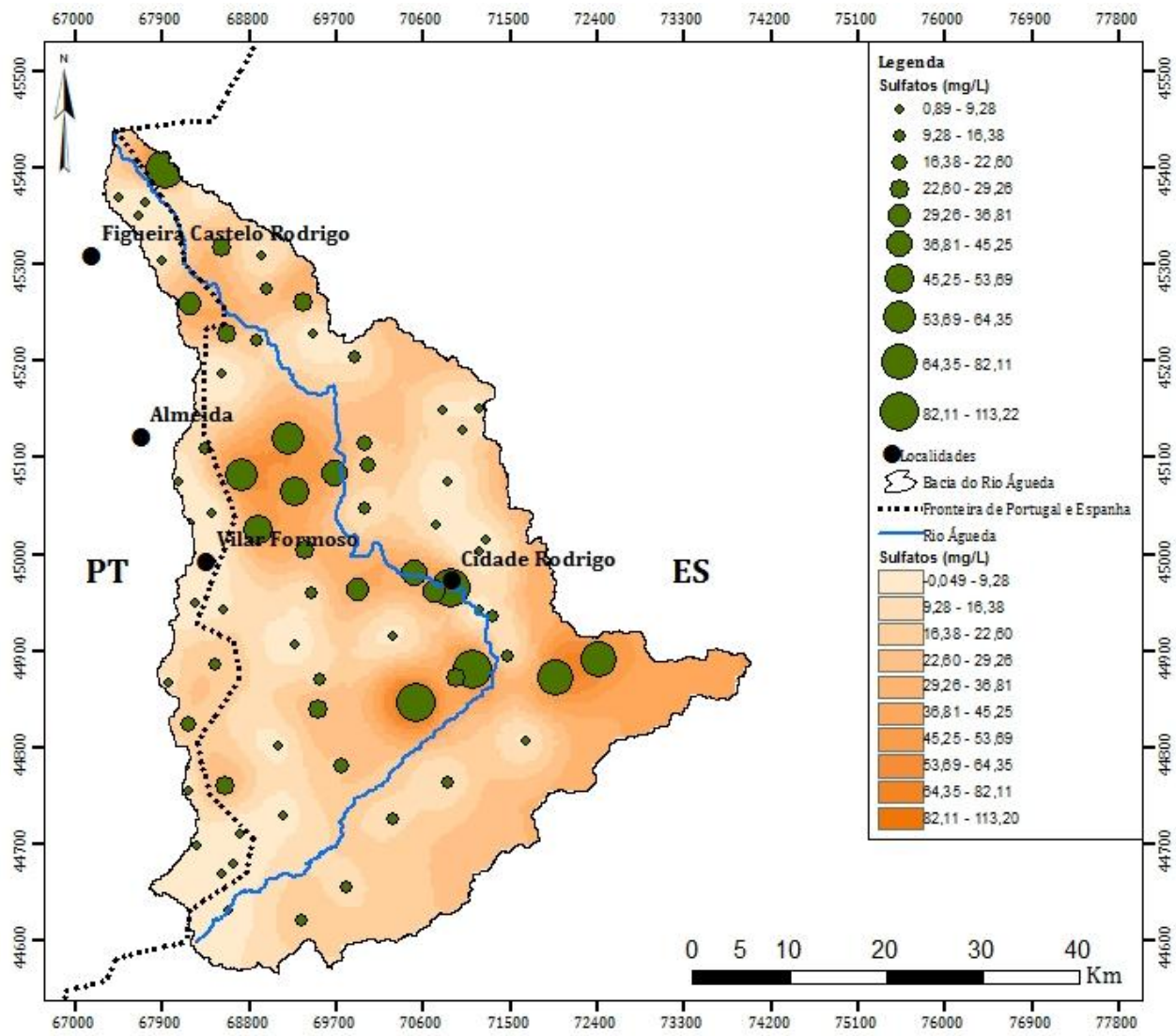
Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013



**Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - pH -**





**Projeção: Transverse Mercator**  
**Datum: D\_ETRS\_1989**  
**Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N**

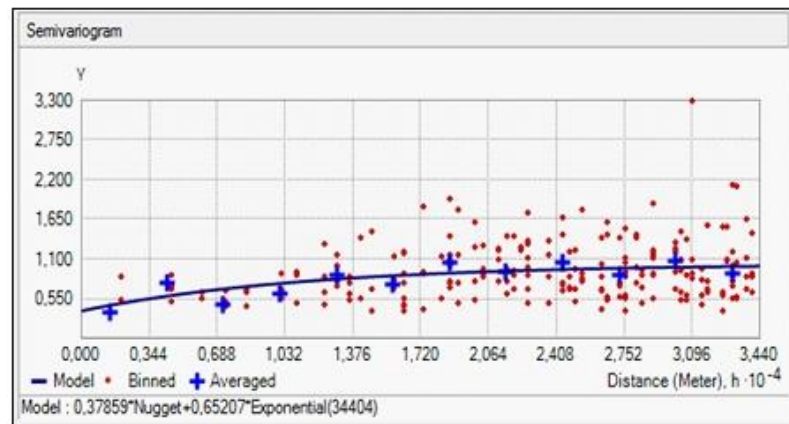
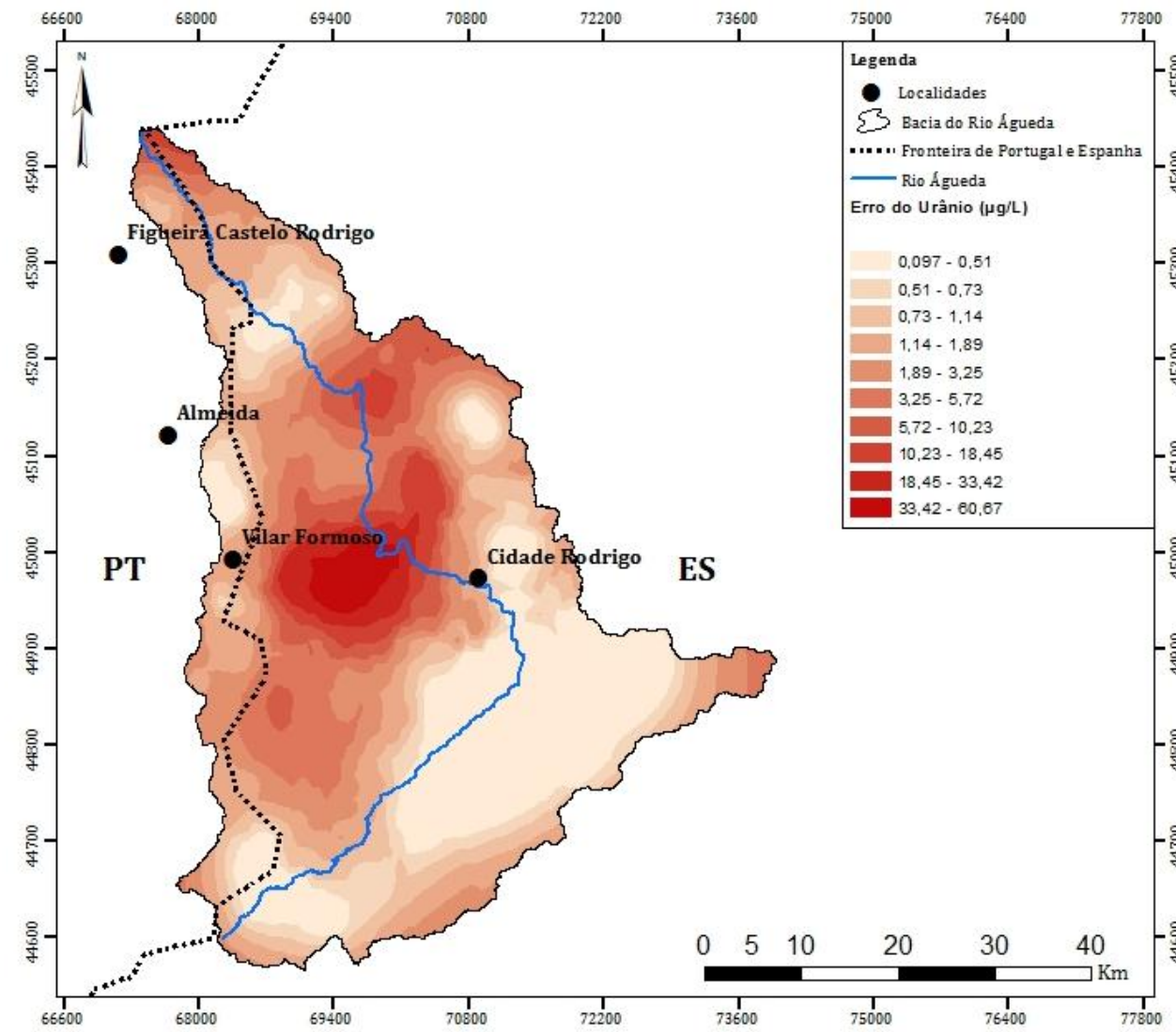
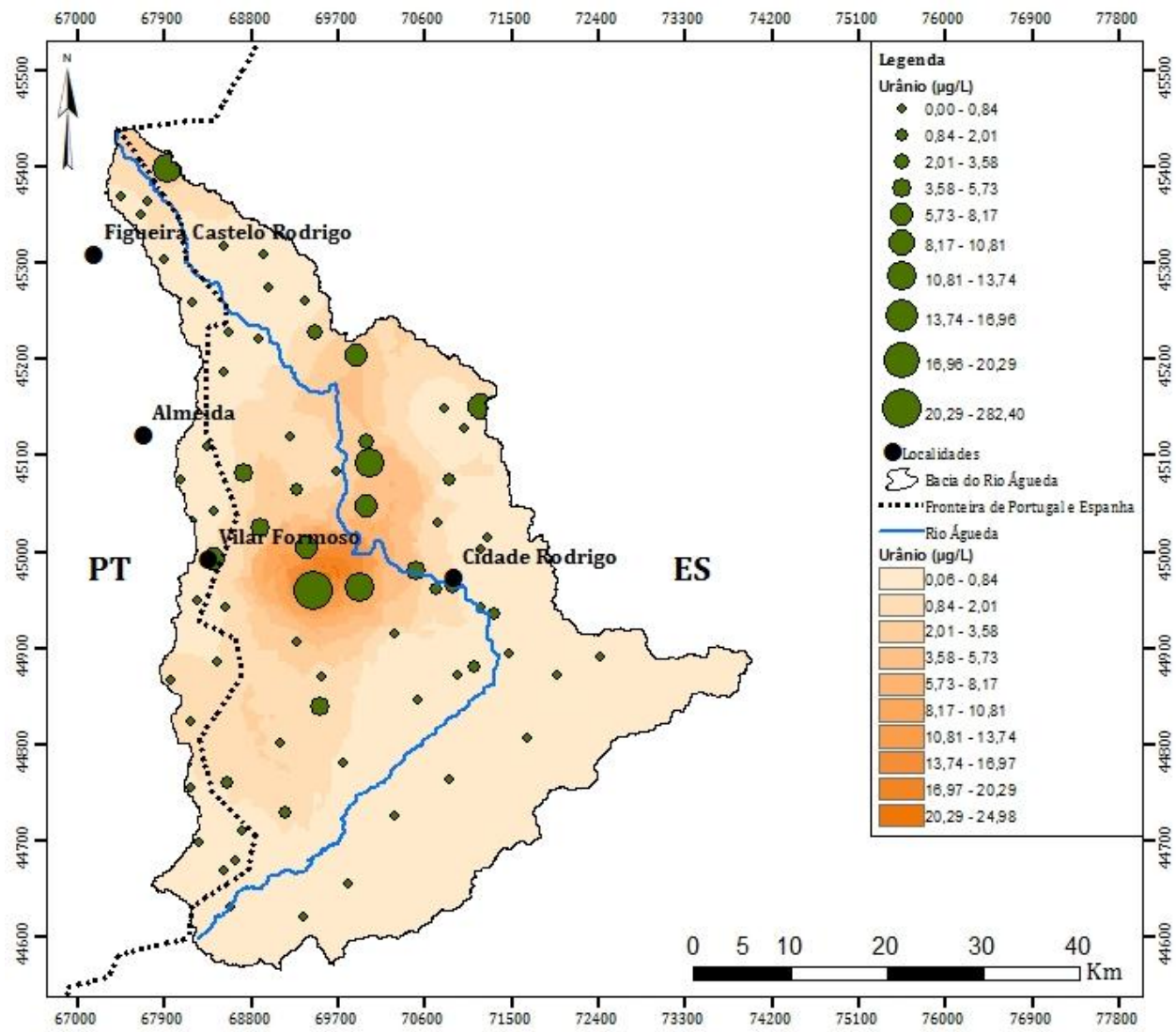
**Elaborado por: Fátima Seco**  
**Data da elaboração: novembro de 2013**



**Mapa de Concentrações**  
**e**  
**Mapa de Erro**  
**- Sulfatos Inorgânicos -**







Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013

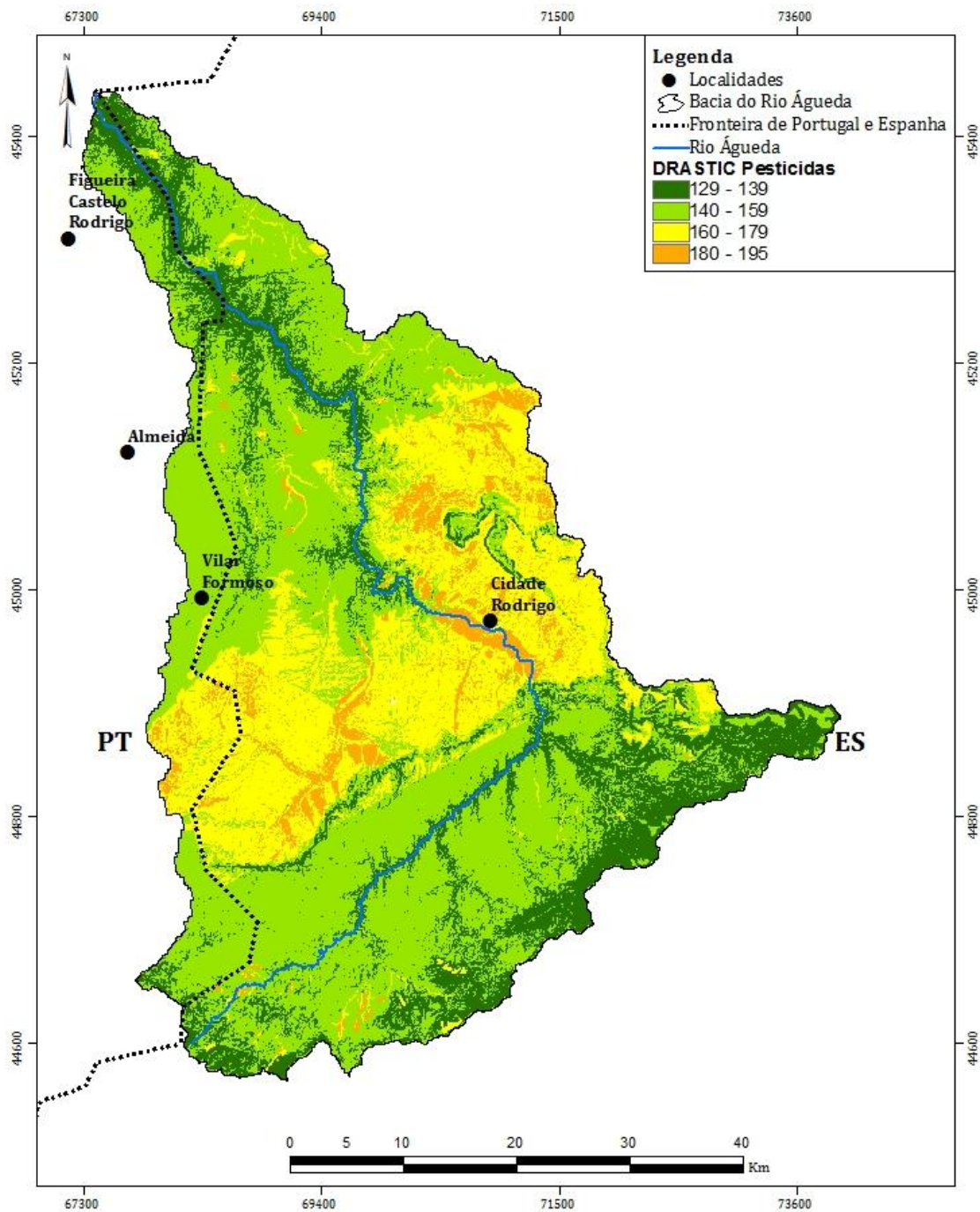


Mapa de Concentrações  
 e  
 Mapa de Erro  
 - Urânio -



**Anexo X- Mapa do índice DRASTIC pesticida na bacia hidrográfica do rio Águeda (Fonte: Albuquerque et al. 2013)**





Projeção: Transverse Mercator  
 Datum: D\_ETRS\_1989  
 Sistema de Coordenadas: ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_29N

Elaborado por: Fátima Seco  
 Data da elaboração: novembro de 2013

**Mapa do Índice  
 DRASTIC Pesticida  
 da  
 Bacia Hidrográfica  
 do Rio Águeda**



