

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA,  
GEOFÍSICA E ENERGIA



**MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS APLICADA AO  
PLANEAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Nuno Manuel Piteira Charneca**

Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação  
(Sistemas de Informação Geográfica)

2012



UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA,  
GEOFÍSICA E ENERGIA



**MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS APLICADA AO  
PLANEAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**Nuno Manuel Piteira Charneca**

Tese orientada pelo Prof. Doutor João Catalão Fernandes e Doutora Maria Alzira Barata Antunes dos Santos, especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor em ciências geofísicas e da geoinformação (sistemas de informação geográfica)

2012



## **Resumo**

A aprovação e implementação da directiva-quadro da água (DQA) e de outras directivas europeias associadas impuseram alterações significativas aos métodos de planeamento e gestão de recursos hídricos e também aos critérios de uso, gestão e partilha de informação geográfica, nomeadamente os que pautam o relato ao sistema europeu de informação sobre águas (WISE) e a contribuição para a infra-estrutura europeia de informação geográfica (INSPIRE).

Neste trabalho apresenta-se o processo de desenvolvimento e implementação de um modelo de dados geográficos (MDG) de suporte ao planeamento e gestão de águas superficiais que considerou requisitos técnicos, funcionais e legais. Os requisitos técnicos e funcionais aplicados à informação geográfica foram determinados com base nas normas internacionais aplicadas à especificação de informação geográfica, nomeadamente as da organização internacional de normalização (ISO) e as da infra-estrutura europeia de informação geográfica (INSPIRE). Os requisitos legais foram determinados por diplomas legais europeus e portugueses que estabelecem as metodologias de planeamento e gestão, conjuntos de dados geográficos, métodos de classificação, fluxos de análise, simbologia de apresentação de dados, entre outros.

Destacam-se quatro casos de utilização do MDG: i) produção cartográfica; ii) análise espacial e modelação hidrológica e hidráulica; iii) relato ao WISE; e iv) suporte aos produtos resultantes da elaboração dos planos de gestão de região hidrográfica (PGRH).

A metodologia utilizada no desenvolvimento do MDG baseou-se nas normas ISO 19103 e 19109, que preconizam quatro fases de desenvolvimento: i) declaração do universo de discurso; ii) modelo conceptual; iii) modelo lógico e iv) modelo físico de dados. Após a implementação do MDG num sistema de gestão de bases de dados geográficos procedeu-se ao seu carregamento com dados, tendo sido testadas e descritas as funcionalidades oferecidas pelo desenho do MDG no âmbito da aplicação ao planeamento e gestão de recursos superficiais.

## **Palavras-chave**

Modelo de dados geográficos, Águas superficiais, Lei da água, WISE, INSPIRE



## **Abstract**

The approval and implementation of the water framework directive and other water resources related directives imposed major changes on the paradigms applied to water resources planning and management and on the use, management and sharing of geographic information, namely as contributions to the water information system for Europe (WISE) and the european spatial data infrastructure (INSPIRE).

This work aimed the development and implementation of a geographic data model to support the water planning and management of surface waters and associated elements complying with technical, functional and legal requirements. The technical and functional requirements were established based on international standards applied to geographic data specification, namely from International Organization for Standardization (ISO) and data specifications of INSPIRE. The legal requirements were translated from European and Portuguese legal diplomas which established planning and management methodologies, workflows, classification methods, symbology and several other elements.

The development axes applied were based mainly in four use cases: i) cartography production; ii) spatial analysis for hydrology and hydraulics; iii) WISE report; and iv) the support to data produced in the river basin management plans.

The methodology used to declare the geographic data model has follow the ISO 19103 and 19109 standards which propose a four stage development: i) declaration of the universe of discourse (that describes a selected piece of “reality”), ii) conceptual model (that describes the universe of discourse using a conceptual schema language), iii) the logical model or application schema (defines the logical structure of data and may define operations that can be performed on or with the data), and iv) the physical model (that consists in the physical implementation of the geographic dataset in a geospatial data repository). After the implementation of the geographic data model in a spatial database system the functionalities provided by the model were tested and described.

## **Keywords**

Geographic data modelling, Surface water resources, Portuguese water framework law, WISE, INSPIRE



## AGRADECIMENTOS

O trabalho desta tese foi vivido com paixão pela descoberta do conhecimento, pela experiência das tentativas e pelos resultados da sua aplicabilidade junto das autoridades competentes nacionais e europeias. Este trabalho não teria sido possível sem a ajuda e dedicação de muitas pessoas às quais gostaria de agradecer.

Ao Professor João Catalão Fernandes, da Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa, o ter-me aceite como seu orientando e pela disponibilidade em rever (mesmo em tempo de férias) todos os textos produzidos.

À Doutora Maria Alzira Santos do LNEC, o ter aceite a co-orientação da tese, pelos conselhos oportunos, por ter incentivado e acreditado na tese desenvolvida e por me ter proporcionado as condições de base para que o plano de trabalhos fosse executado.

Ao *Institute for Environmental and Sustainability* do *Joint Research Centre*, instituições da Comissão Europeia, nas pessoas do Doutor Alfred De Jager, Doutora Erika Rimaviciute, Doutor Palle Haastrup e do Doutor Max Craglia, por me terem recebido durante vários meses em Itália para um estágio que me deu a oportunidade de mapear o sistema de informação europeu sobre recursos hídricos (WISE), de conhecer a orgânica destas instituições e os seus principais objetivos em matéria de planeamento e gestão de recursos hídricos.

Ao Doutor Manuel Oliveira do núcleo de águas subterrâneas do LNEC agradeço o desenvolvimento da componente de águas subterrâneas do modelo de dados geográficos e a programação de rotinas que permitiram gerir melhor os metadados associados.

Aos colegas do LNEC, Doutora Anabela Oliveira, Doutor João Rocha, Gonçalo Jesus, Américo Louro e Ana Mendes, pelos conselhos estratégicos de desenvolvimento, pela revisão e pelo apoio técnico.

Ao Dr. Rodrigo Silva e Dra. Fátima Silva da ESRI-Portugal por terem acreditado no potencial do trabalho e terem colaborado, junto das autoridades competentes, na sua aplicação prática através de uma sólida base tecnológica.

Aos colegas Doutor Marcírio Chaves e Dra. Catarina Rodrigues do departamento de informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa pela frutuosa partilha de conhecimento e co-autoria em publicações científicas.

Um especial obrigado a todas as chefias e técnicos das ARH do Norte, ARH do Centro, ARH do Tejo, ARH do Alentejo e ARH do Algarve que permitiram enriquecer o meu conhecimento sobre

planeamento e gestão da água e contribuíram significativamente para a melhoria deste trabalho através das experiências reais que me proporcionaram.

Ao Eng. Pedro Bettencourt e aos colegas Maria Grade e João Fernandes da Nemus que, com a sua experiência na elaboração dos planos de gestão de região hidrográfica do Alentejo e Algarve, contribuíram para adequar melhor os produtos da tese a este instrumento de planeamento.

Ao Prof. David Maidment da Universidade do Texas pelos esclarecimentos e conselhos de abordagem metodológica. Ao Dr. Dean Djokic da ESRI Inc. pela ajuda na compreensão dos pressupostos teóricos de uma especificação de informação geográfica para recursos hídricos superficiais.

Aos meus pais Francisco e Vina pelo incentivo e apoio incondicional. À minha mulher Sofia pela compreensão pelos estados temporários de alieanação do mundo e ao meu filho Afonso, nascido já na recta final da tese. É a eles que dedico este trabalho.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia agradeço a atribuição da bolsa de investigação com a referência SFRH/BD/18427/2004, co-financiada pelo Programa Operacional Ciência e Inovação 2010 e pelo Fundo Social Europeu (FSE).



Esta tese foi elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Geofísicas e da Geoinformação (Sistemas de Informação Geográfica) pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

## **Glossário de siglas e abreviaturas**

ACB - Avaliação Custo-Benefício

ACE - Análise Custo-Eficácia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ARH - Administração da Região Hidrográfica

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

CAE – Classificação das Actividades Económicas

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

CDG – Conjunto de Dados Geográficos

CEN – Comité Europeu de Normalização

CLC – *Corine Land Cover*

CM – Carta Militar

CNGRI – Comissão Nacional da Gestão dos Riscos de Inundações

DAS – Directiva das Águas Subterrâneas (Directiva 2006/118/CE)

DGOTDU – Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano

DGT – Direcção-Geral do Território

DPH – Domínio Público Hídrico

DPM – Domínio Público Marítimo

DQA – Directiva Quadro da Água (2000/60/CE, de 23 de Outubro)

EM – Estados-membros da União Europeia

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETDAS – Ecossistemas Terrestres Dependentes das Águas Subterrâneas

HMS – *Habitat Modification Score*

HQA – *Habitat Quality Assessment*

HRU – *Hidrologic Response Units* (unidades de resposta hidrológica)

HTML – *HyperText Markup Language*

IG – Informação Geográfica

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

IGP - Instituto Geográfico Português

IGT – Instrumento de Gestão Territorial

INAG - Instituto da Água; Autoridade Nacional da Água

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

INSPIRE – Infra-estrutura europeia de informação geográfica

INTERSIG - Gestor de informação geográfica do Instituto da Água

ISO - *International Organization for Standardization*

LA - Lei da Água

LMPAVE – Linha Máxima de Preia Mar de Águas Vivas Equinociais

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MA - Massa de água

MDG - Modelo de Dados Geográficos

MDT – Modelo Digital de Terreno

NMC - Nível de Máxima Cheia

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

NQA (EQS) - Normas de Qualidade Ambiental (*Environmental Quality Standards*)

NRC - Nível de Recuperação de Custos

OGC – *Open Geospatial Consortium*

PBH - Plano de Bacia Hidrográfica

PCIP - Prevenção e Controlo Integrados de Poluição

PDM - Plano Director Municipal

PEAASAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PEGA - Planos Específicos de Gestão das Águas

PGBH - Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica

PGRH – Plano de Gestão de Região Hidrográfica

PMOT – Plano Municipal do Ordenamento do Território

PNA – Plano Nacional da Água

PNPOT – Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

POAAC – Plano de Ordenamento de Albufeiras de Águas Classificadas

POAP – Plano de Ordenamento de Área Protegida

POE – Plano de Ordenamento de Estuário

POEM – Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo

POOC – Planos de Ordenamento de Orla Costeira

PROT - Planos Regionais de Ordenamento do Território

RAN – Reserva Agrícola Nacional

RCM – Resolução do Conselho de Ministros

REF – Regime Económico e Financeiro

REN – Rede Eléctrica Nacional ou Reserva Ecológica Nacional

RH - Região Hidrográfica

RNAP – Rede Nacional de Áreas Protegidas

RSB – Regulamento de Segurança de Barragens

SIC – Sítios de Interesse Comunitário

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SNIG – Sistema Nacional de Informação Geográfica

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SNIRLit – Sistema Nacional de Informação dos Recursos do Litoral

SCN10K – Série Cartográfica Nacional na escala 1:10.000 (Instituto Geográfico Português)

SNITURH - Sistema Nacional sobre Títulos de Utilização dos Recursos Hídricos

SWAT – *Soil and Water Assessment Tool*

TICOR – *Typology and Reference Conditions for Portuguese Transitional and Coastal Waters*

TRH – Taxa de Recursos Hídricos

TURH – Título de Utilização dos Recursos Hídricos

UE – União Europeia

UML - *Unified Modeling Language*

VMA - Valor Máximo Admissível

VMR - Valor Máximo Recomendado

WISE - *Water Information System for Europe*

XML – *Extensible Markup Language*

ZEC – Zona Especial de Conservação

ZPE - Zonas de Protecção Especial

ZV – Zona Vulnerável

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Motivação .....	3
1.2	Objectivos e âmbito .....	5
1.3	Estrutura da tese .....	8
2	ESTADO DA ARTE .....	11
2.1	Modelação de dados geográficos .....	11
2.2	Procedimentos e ferramentas para a modelação de dados .....	14
2.3	Iniciativas de normalização de informação geográfica .....	18
2.4	Iniciativas de especificação de informação geográfica europeias .....	19
2.5	Sistema de informação europeu sobre águas (WISE) .....	24
2.6	Especificações de informação geográfica em Portugal .....	27
3	MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	31
3.1	Enquadramento .....	31
3.2	Análise da legislação europeia e nacional aplicável .....	31
3.2.1	Análise do enquadramento legal europeu (directivas europeias) .....	32
3.2.2	Análise do enquadramento legal nacional .....	34
3.3	Normas e especificações internacionais aplicáveis .....	35
3.3.1	Normas ISO .....	37
3.3.1.1	O formato GML para partilha de informação geográfica .....	38
3.3.1.2	WaterML .....	39
3.3.2	Disposições de execução INSPIRE .....	40
3.3.2.1	Documentos relacionados com as especificações dos temas da INSPIRE .....	41
3.3.2.2	Temas INSPIRE .....	42
3.3.2.3	A especificação de informação geográfica do tema hidrografia .....	44
3.3.2.4	Ciclos de vida dos objectos geográficos e sistemas de referência temporal .....	48
3.4	UML como linguagem de modelação de dados geográficos .....	50
3.4.1	Perfil UML .....	52
3.5	O processo de modelação de dados geográficos aplicado às águas superficiais .....	55
3.5.1	Universo do discurso .....	58
3.5.2	Modelo conceptual (esquema conceptual) .....	58

3.5.2.1	Critérios do processo de modelação de conceitos.....	60
3.5.2.2	Dicionário de dados.....	61
3.5.2.3	Elementos de metadados codificados em XML.....	61
3.5.3	Modelo lógico (esquema de aplicação).....	64
3.5.3.1	Catálogo de entidades.....	69
3.5.4	Modelo físico.....	71
3.6	Modelação centrada em objectos.....	72
3.6.1	Associações entre classes.....	73
3.6.2	Identificação e codificação de objectos.....	76
3.7	WISE ( <i>Water Information System for Europe</i> ).....	77
4	MODELO LÓGICO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	81
4.1	Estruturação do modelo lógico.....	81
4.2	Casos de uso do modelo lógico.....	82
4.3	Pacote UML relativo a unidades de gestão de recursos hídricos.....	83
4.3.1	Diagrama de classes de unidades de gestão.....	84
4.3.2	Diagrama de classes de limites das águas marítimas.....	87
4.4	Pacote UML relativo a elementos de hidrografia.....	89
4.4.1	Diagrama de classes sobre hidrografia.....	89
4.4.1.1	Pontos Hidro.....	90
4.4.1.2	Linhas Hidro.....	96
4.4.1.3	Áreas Hidro.....	96
4.4.2	Diagrama de classes sobre massas de água superficiais.....	101
4.5	Pacote UML relativo a programas de monitorização e estado das massas de água.....	105
4.5.1	Diagrama de classes sobre programas de monitorização.....	106
4.5.2	Diagrama de classes sobre o estado das massas de água superficiais.....	108
4.5.3	Diagrama de classes sobre os regimes de excepção aplicados às massas de água.....	116
4.6	Pacote UML relativo a séries temporais.....	119
4.7	Pacote UML relativo a programas de medidas.....	121
4.7.1	Diagrama de classes sobre programas de medidas.....	122
4.7.2	Diagrama de classes sobre o relacionamento dos programas de medidas com entidades geográficas.....	128
4.8	Pacote UML relativo à rede hidrográfica.....	130
4.8.1	Representação da rede hidrográfica através de uma rede geométrica.....	130

4.8.2	Classificação dos nós da rede hidrográfica .....	135
4.8.3	Entidades geográficas associadas à rede hidrográfica .....	136
4.8.4	Determinação do sentido do escoamento na rede hidrográfica .....	140
4.8.5	Classificação de redes hidrográficas .....	142
4.8.6	Segmentação dinâmica em representações de redes hidrográficas .....	145
4.9	Pacote UML relativo objectos superficiais .....	147
4.9.1	Diagrama de classes sobre associações à rede hidrográfica .....	149
4.9.2	Diagrama de classes sobre gestão de atribuição de códigos identificadores .....	150
4.9.3	Diagrama de classes sobre metodologias aplicadas à classificação de massas de águas superficiais .....	151
5	MODELO FÍSICO DE DADOS E PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO.....	153
5.1	Procedimentos de implementação .....	153
5.2	Exportação para XML e verificação de conformidade semântica.....	154
5.2.1	Implementação dos tipos de dados e listas codificadas .....	155
5.3	Sistema de códigos identificadores.....	156
5.3.1	Gestão dos códigos identificadores na base de dados geográficos.....	156
5.3.2	Gestão dos códigos identificadores <i>IDHidro</i> .....	157
5.3.3	Identificadores externos à base de dados ( <i>CodHidro/*MS_CD</i> ).....	161
5.3.4	Código de identificação europeu ( <i>CodUE/EU*CD</i> ).....	162
5.4	Implementação do modelo lógico.....	162
5.5	Carregamento e organização de dados .....	164
5.5.1	Precedências de carregamento .....	164
5.5.2	Catálogo de entidades e dicionário de dados .....	167
5.6	Integração de informação geográfica no modelo digital de terreno.....	169
5.7	Gestão da rede hidrográfica.....	172
5.7.1	Carregamento de dados na rede geométrica .....	172
5.7.1.1	Métodos de associação de objectos à rede hidrográfica .....	174
5.7.1.2	Atribuição do sentido de escoamento aos arcos da rede hidrográfica .....	177
5.7.2	Representação da rede hidrográfica no interior de massas de água superficiais .....	178
5.7.3	Análise espacial da rede hidrográfica .....	181
5.7.4	Representação de entidades geográficas com dependência dos limites do leito .....	182
5.7.5	Navegação área-área através das áreas de drenagem .....	183
5.8	Avaliação do estado das massas de água.....	183

5.9	Representação dos elementos de qualidade por referência pontual e linear .....	184
5.9.1	Representação dos efeitos das pressões tóxicas e difusas por referência linear e pontual .....	187
5.9.2	Controlo de qualidade dos dados.....	191
5.10	Simbologia aplicável aos tipos de entidades presentes no MDG.....	193
5.11	Transformação e carregamento de dados no WISE .....	196
6	CONCLUSÕES .....	203
7	TRABALHO FUTURO .....	217
	BIBLIOGRAFIA.....	225

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação das massas de água rios (de acordo com as normas técnicas de produção e reprodução da SCN 10K) .....	28
Figura 2. Extracto do catálogo de objectos preliminar proposto para os PMOT (Grupo de Ordenamento do Território, IGP).....	29
Figura 3. Extracto da estrutura da norma ISO 19131 referente à especificação de informação geográfica .....	38
Figura 4. Modelo conceptual genérico da INSPIRE (INSPIRE, 2010a).....	41
Figura 5. Casos de uso da especificação INSPIRE - Hidrografia (INSPIRE, 2010).....	45
Figura 6. Esquema simplificado do processo de modelação de dados. Adaptado da norma ISO 19109. ....	56
Figura 7. Modelo conceptual genérico do modelo de dados geográficos .....	59
Figura 8. Exemplo de utilização da marca de valor documentation para descrição do elemento UML .....	62
Figura 9. Ficheiro XSL de extracção de definições das classes consideradas nos diagramas de classes UML .....	63
Figura 10. Excerto do código XML exportado a partir do modelo de dados UML, respeitante à definição de bacia hidrográfica .....	63
Figura 11. Ficheiro XML formatado com o nome, definição, e descrição das classes presentes nos diagramas UML.....	64
Figura 12. Esquema de geração do catálogo de entidades e engenharia inversa até ao modelo físico de dados.....	70
Figura 13. Representação de uma associação do tipo simples entre classes de objectos. ....	73
Figura 14. Representação de uma associação do tipo composto. Eliminar o objecto de bacia hidrográfica implica eliminação dos objectos associados na classe de destino .....	74
Figura 15. Propriedades da associação entre bacias hidrográficas e sub-bacias hidrográficas. À esquerda a representação da associação em UML; à direita as suas propriedades .....	74
Figura 16. Atribuição de valores identificadores de chave primária em operações de edição de objectos geográficos .....	75
Figura 17. Classe de base para identificação, codificação e relacionamento de objectos.....	76

Figura 18. Relações entre os esquemas XML do Art.º 13 da DQA (extraído de Atkins, 2009b).....	78
Figura 19. Representação dos casos de uso do MDG .....	82
Figura 20. Diagrama de classes referente à administração de recursos hídricos .....	84
Figura 21. Propriedades da classe RegioesHidrograficas .....	85
Figura 22. Propriedades da classe AutoridadesCompetentes.....	86
Figura 23. Diagrama de classes dos limites das águas marítimas .....	88
Figura 24. Delimitação das regiões hidrográficas. Fonte: InterSIG, regiões hidrográficas (Artigo 13.º da DQA) .....	88
Figura 25. Esquema conceptual geral do pacote UML relativo a elementos de hidrografia .....	89
Figura 26. Diagrama de classes Hidrografia .....	90
Figura 27. Classe EstacoesMonitorizacao .....	93
Figura 28. Associação das descargas superficiais a um nó da rede hidrográfica .....	94
Figura 29. Sistema de codificação da associação entre as classes <i>GrandesBarragens</i> e <i>JuncoesHidro</i> . a) Representação das classes <i>Lagos</i> , <i>Rios</i> , <i>JuncoesHidro</i> e <i>GrandesBarragens</i> . b) Sistema de codificação de suporte à associação entre as classes <i>GrandesBarragens-JuncoesHidro</i> .....	95
Figura 30. Sub-conjunto do diagrama de classes Hidrografia referente às zonas de domínio público hídrico .....	97
Figura 31. Exemplo de margens alcantiladas (Adaptado de DGOTDU, 2005) .....	98
Figura 32. Exemplo de representação de margem de água navegáveis ou fluviáveis em que se incluem margens alcantiladas.....	98
Figura 33. Representação esquemática das entidades margens e zonas adjacentes de massas de água navegáveis ou fluviáveis.....	100
Figura 34. Representação esquemática da entidade zona inundável .....	100
Figura 35. Diagrama de classes referente às categorias de massas de água superficiais .....	103
Figura 36. Diagrama de classes para classificação de massas de água prioritárias .....	104
Figura 37. Esquema conceptual geral do pacote UML relativo aos programas de monitorização.....	106
Figura 38. Diagrama de classes referente aos programas de monitorização das águas superficiais, zonas protegidas .....	107
Figura 39. Diagrama de classes referente à caracterização do estado das massas de água .....	110

Figura 40. Resumo do processo de classificação das massas de água .....	113
Figura 41. Esquema de classificação dos elementos de qualidade no âmbito da implementação da DQA/LA (UK TAG, 2007 <i>in</i> INAG, 2009a) .....	115
Figura 42. Extracto do diagrama de classes sobre a classificação dos elementos de qualidade para massas de água rios.....	115
Figura 43. Diagrama de classes UML referente à deterioração temporária e não violação dos objectivos ambientais.....	119
Figura 44. Diagrama de classes respeitantes ao registo de observações das estações de monitorização e parâmetros monitorizados em águas superficiais .....	120
Figura 45. Diagrama de classes respeitantes aos programas de medidas .....	125
Figura 46. Diagrama de classes das associações entre as medidas e as entidades geográficas às quais se aplicam .....	129
Figura 47. Diagrama de classes dos elementos da rede hidrográfica.....	131
Figura 48. Representação dos tipos de segmentos da rede hidrográfica sobre massas de água lagos .....	132
Figura 49. Vectorização da linha de escoamento: (A) considerando o centro do escoamento resultante do encontro das bissectrizes da altura da coluna de água com a largura da secção transversal molhada; (B) considerando o talvegue do curso de água; (C) a intercepção dos taludes das margens quando a batimetria é desconhecida.....	133
Figura 50. Representação bidimensional das opções de representação da linha de escoamento .....	134
Figura 51. Exemplo da associação entre as bacias hidrográficas e os nós da rede hidrográfica .....	137
Figura 52. Associação entre as Bacias Hidrográficas e os nós da rede.....	137
Figura 53. Migração de valores de atributos entre as classes Lagos e a classe JuncoesHidro.....	138
Figura 54. Seccionamento da rede hidrográfica para associação de outras entidades geográficas .....	139
Figura 55. Associação de entidade geográfica à rede sem necessidade de seccionamento.....	140
Figura 56. Classe de SegmentosHidro com os respectivos valores admissíveis relativos à direcção de escoamento.....	140
Figura 57. Exemplo de aplicação da classificação Pfafstetter (Nery <i>et al.</i> , 2002).....	142

Figura 58. Exemplo da classificação de Strahler (1957) e Shreve (1966), respectivamente.....	144
Figura 59. Classificação decimal usada pela DGRAH.....	144
Figura 60. Exemplo da segmentação dinâmica de um curso de água. ....	146
Figura 61. Diagrama de classes de suporte à referência linear e pontual.....	146
Figura 62. Diagrama de classes referente às classes geográficas associadas à rede hidrográfica.....	149
Figura 63. Diagrama de classes de suporte à gestão de códigos identificadores IDHidro.....	150
Figura 64. Diagrama de classes de suporte ao registo das metodologias aplicadas à identificação e classificação do estado das massas de águas superficiais.....	151
Figura 65. Etapas de implementação do modelo lógico do MDG.....	154
Figura 66. Amostra do código XML gerado pela exportação do modelo lógico do MDG.....	156
Figura 67. Composição do código identificador <i>IDHidro</i> .....	159
Figura 68. Implementação das tabelas de gestão de atribuições de códigos identificadores.....	160
Figura 69. Perspectivas do modelo físico de dados.....	163
Figura 70. Catálogo de entidades do modelo lógico.....	168
Figura 71. Exemplo da estrutura de metadados no catálogo de entidades.....	168
Figura 72. Abrangência geográfica da bacia do rio Guadiana sob jurisdição portuguesa sobreposta com os limites das folhas da carta militar (imagem à esquerda), e sobreposta com a área com informação altimétrica disponível (imagem à direita).....	170
Figura 73. Esquema dos procedimentos de tratamento de informação geográfica para identificação do sistema de drenagem.....	172
Figura 74. Associação das entidades Lagos e <i>JuncoesHidro</i> com base nos atributos <i>IDHidro-IDHidroJuncao</i> .....	173
Figura 75. Esquema da associação entre o nó de rede hidrográfica e a estação de monitorização.....	175
Figura 76. Inferência de nó de rede para associação com estação de monitorização.....	175
Figura 77. Novas estações de monitorização e nós de rede hidrográfica associados.....	176
Figura 78. Exemplos de tipos de nós da rede hidrográfica.....	176
Figura 79. Representação do sentido de escoamento.....	178
Figura 80. Elementos do MDG utilizados na classificação dos arcos da rede hidrográfica.....	179

Figura 81. Representação da rede geométrica de escoamento sobre uma massa de água fortemente modificada .....	179
Figura 82. Rede geométrica de escoamento inferida no interior de uma massa de água .....	180
Figura 83. Representação dos canais de rega da Albufeira de Lucefécit de acordo com o reportado no artigo 5º da DQA .....	180
Figura 84. Selecção do percurso de escoamento para jusante até ao ponto de descarga da rede.....	181
Figura 85. Exemplos de representação da linha central do escoamento no interior da representação das massas de água superficiais (Adaptado da especificação de dados INSPIRE – tema hidrografia) .....	182
Figura 86. Identificação de áreas de influência hidrológica: a) selecção de uma área de drenagem; b) selecção automática das áreas de drenagem de montante. ....	183
Figura 87. Tabela de atributos do tipo de entidades referente a rios .....	185
Figura 88. Representação da rede hidrográfica da ribeira de Odearce.....	186
Figura 89. Tabela de atributos da rede hidrográfica da ribeira de Odearce .....	186
Figura 90. Referenciais métricos para segmentação dinâmica da rede hidrográfica.....	187
Figura 91. Cálculo dos locais de descarga de indústrias transformadoras .....	188
Figura 92. Tabela de eventos pontuais respeitantes aos locais de rejeição estimada de indústrias transformadoras .....	189
Figura 93. Estrutura e registos da tabela <i>EventosLinearesHidro</i> .....	189
Figura 94. Representação das influências das pressões tópicas sobre as massas de água superficiais receptoras.....	190
Figura 95. Exemplo de verificação da consistência topológica de dados .....	193
Figura 96. Representação cartográfica dos estados finais de massas de água superficiais correspondentes à região hidrográfica do rio Guadiana (RH7).....	195
Figura 97. Representação cartográfica das tipologias de massas de água superficiais correspondentes à região hidrográfica do rio Guadiana (RH7).....	196
Figura 98. Extracto da estrutura do ficheiro <i>XML schema</i> do WISE (SWB_3p0.xsd) relativo às massas de água superficiais.....	197
Figura 99. Estrutura e descrição da tabela <i>SWB_SurfaceWaterBody</i> da <i>WISE Access Tool</i> .....	198
Figura 100. Representações geográficas dos principais elementos do WISE. Fonte: <i>European Environmental Agency (2008)</i> .....	198

Figura 101. Exemplo de migração de dados entre a base de dados geográficos (MDG) e a <i>WISE Access Tool</i> .....	199
Figura 102. Resultado da migração de dados entre a base de dados geográficos e a <i>WISE Access Tool (SWB_SurfaceWaterBody)</i> .....	200
Figura 103. Estrutura das tabelas WISE relativas a pressões e impactes sobre massas de água superficiais.....	200
Figura 104. Diagrama de classes parcial relativo ao registo das cargas poluentes das pressões antropogénicas.....	202

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Temas dos anexos I, II, e III da directiva INSPIRE .....	42
Quadro 2. Elementos gráficos de estrutura utilizados na UML.....	53
Quadro 3. Elementos gráficos de associação utilizados na UML.....	54
Quadro 4. Cores atribuídas às classes UML do MDG .....	55
Quadro 5. Tipos de dados do perfil UML utilizados para descrever o modelo lógico.....	155
Quadro 6. Estrutura das tabelas de gestão do código identificador <i>IDHidro</i> .....	157
Quadro 7. Tabelas de gestão do código identificador <i>IDHidro</i> .....	158
Quadro 8. Lista de códigos identificadores previstos no modelo lógico .....	160
Quadro 9. Lista de códigos identificadores previstos no modelo lógico .....	161
Quadro 10. Cores atribuídas aos níveis de prioridade de carregamento de informação na base de dados geográficos .....	165
Quadro 11. Hierarquia de carregamento aos conjuntos de dados geográficos e atribuição do código único identificador ( <i>IDHidro</i> ) .....	165
Quadro 12. Características do modelo digital de terreno de base.....	171
Quadro 13. Conjunto de regras topológicas implementadas no modelo físico de dados.....	191
Quadro 14. Cores e respectivos códigos numéricos de base 10 e 16 de misturas cromáticas RGB.....	194
Quadro 15. Cores de apresentação do estado ecológico.....	194
Quadro 17. Cores de apresentação do potencial ecológico .....	195
Quadro 18. Cores de apresentação do estado químico .....	195



## 1 INTRODUÇÃO

O actual enquadramento legal europeu e nacional resultante da implementação da directiva quadro da água (directiva 2000/60/CE) veio colocar sérios desafios de produção, transformação e partilha de informação geográfica respeitante ao planeamento e à gestão de recursos hídricos. Não só pelo carácter inovador da DQA relativamente aos requisitos de gestão deste tipo de informação, mas por todos os efeitos que esta directiva-quadro provocou: efeitos de alteração metodológica na análise e gestão da informação; efeitos de re-organização institucional das autoridades competentes; e efeitos no surgimento de novas ou renovadas figuras de planeamento e ordenamento de recursos hídricos, nomeadamente os planos de gestão de região hidrográfica (PGRH), planos específicos de gestão das águas (PEGA) e planos de ordenamento de estuários (POE).

Os processos de planeamento e gestão de recursos hídricos têm-se baseado recorrentemente em sistemas de informação individuais não sincronizados, e frequentemente não interoperáveis, específicos para um domínio bem identificado e restrito, de que são exemplos, a nível nacional, o sistema de informação de recursos hídricos (SNIRH<sup>1</sup>), o inventário nacional de sistemas de abastecimento de água e de águas residuais (INSAAR<sup>2</sup>) e o gestor de informação geográfica do Instituto da Água (InterSIG). A nível regional, apontam-se exemplos como o sistema de apoio ao licenciamento da ARH do Algarve<sup>3</sup>, ou o gestor electrónico de processos (GEP) da região hidrográfica do Centro, ou ainda, a aplicação do licenciamento das utilizações dos recursos hídricos do Tejo e ribeiras do Oeste (SiLARHTe<sup>4</sup>). Referem-se ainda sistemas para a gestão de dados de monitorização (cujos dados são migrados parcial ou totalmente para o SNIRH) ou para a gestão de resultados de análises laboratoriais, de que é exemplo o *Labway*<sup>5</sup>. A gestão de pareceres, pagamentos, denúncias, fiscalização ou de património são também domínios em que se aplicam frequentemente sistemas de informação específicos. Este facto contribui para que os elementos necessários para o exercício de planeamento e gestão estejam dispersos por vários sistemas, o que obriga a esforços significativos de compatibilização e integração.

As características da informação a produzir durante a elaboração da 1ª geração dos PBH estavam descritas no documento de “Especificações técnicas para a informação georreferenciada dos planos de bacia hidrográfica” (INAG, 1998), no formato de fichas individuais por cada conjunto de dados geográficos<sup>6</sup>. No entanto, por não se tratar de uma especificação de informação geográfica que integrasse um modelo de dados geográficos, ficaram dificultadas as tarefas de harmonização,

---

<sup>1</sup> <http://snirh.pt>

<sup>2</sup> <http://insaar.inag.pt/>

<sup>3</sup> <http://licenciamentos.mapas.arhalgarve.pt>

<sup>4</sup> [licenciamento.arhtejo.pt](http://licenciamento.arhtejo.pt)

<sup>5</sup> [www.ambidata.pt](http://www.ambidata.pt)

<sup>6</sup> uma colecção identificável de dados geográficos.

controlo de qualidade e partilha de dados que potenciassesem a sua utilização em tarefas de gestão integrada de recursos hídricos, bem como nas tarefas de acompanhamento, controlo e avaliação da execução destes planos. De salientar ainda que os metadados da informação considerada na elaboração dos PBH, embora fisicamente dissociados da informação que descreviam, deram origem ao perfil SNIRH de metadados, descrito no documento “Especificações técnicas de metadados a integrar no sistema nacional de informação de recursos hídricos” (INAG, 1998a).

A aprovação e transposição da DQA para o direito interno português, de que resultou a publicação da Lei da Água, bem como a publicação de diversos diplomas legais subsequentes, veio alterar significativamente os critérios de aquisição, análise e produção de informação de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos. A implementação da DQA veio evidenciar a necessidade e urgência de uma especificação de informação que traduzisse e uniformizasse os novos requisitos técnicos e legais impostos. Estava-se assim perante um cenário de ausência de uma especificação de informação geográfica que traduzisse estes novos critérios como forma de suporte à elaboração e execução dos instrumentos de planeamento e ordenamento de recursos hídricos (p.e. PGRH, PEGA, POE), inclusive das suas representações cartográficas que, simultaneamente considerasse as necessidades de interoperabilidade<sup>7</sup> com os sistemas de informação de suporte à gestão dos dados de monitorização e dos sistemas de gestão dos títulos de utilização de recursos hídricos. Além destes requisitos, destaca-se ainda a necessidade de partilha de dados com sistemas de informação internacionais como o WISE (sistema de informação europeu sobre recursos hídricos) e a infra-estrutura de informação geográfica europeia INSPIRE<sup>8</sup>, bem como com modelos matemáticos hidrológicos e hidráulicos.

Mediante o cenário descrito, e de acordo com os requisitos técnicos e funcionais identificados para o suporte às acções de planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais, considerou-se pertinente o desenvolvimento de um modelo de dados geográficos como parte integrante de uma especificação de informação geográfica. Os principais objectivos do modelo de dados geográficos desenvolvido são: i) representar geograficamente os objectos físicos de interesse para as tarefas de planeamento e gestão de recursos hídricos; ii) capacitar a análise espacial e a modelação hidrológica e hidráulica; iii) potenciar a transformação e partilha de dados com os sistemas de informação, como o WISE<sup>9</sup> e a INSPIRE; e, iv) suportar os produtos resultantes da elaboração dos instrumentos de planeamento e ordenamento de recursos hídricos (quer de natureza geográfica, quer de natureza alfanumérica), com especial destaque para os PGRH.

---

<sup>7</sup> *Define-se como interoperabilidade entre sistemas de informação a possibilidade de os conjuntos de dados geográficos serem combinados, e de os serviços de dados interagirem, sem intervenção manual repetitiva, de tal forma que o resultado seja coerente e o valor acrescentado dos conjuntos e serviços de dados seja reforçado (INSPIRE, 2007)*

<sup>8</sup> *metadados, conjuntos e serviços de dados geográficos; serviços e tecnologias em rede; acordos em matéria de partilha, acesso e utilização, e mecanismos, processos e procedimentos de coordenação e acompanhamento estabelecidos, explorados ou disponibilizados nos termos da directiva.*

<sup>9</sup> *Water Information System for Europe*

A modelação de dados geográficos aplicada ao planeamento e gestão de recursos hídricos viabiliza a identificação, caracterização e representação geográfica dos objectos reais do sistema hidrográfico e hidrológico, representando uma importante mais-valia para descrever os elementos do espaço territorial e para a modelação e monitorização dos fenómenos associados ao meio hídrico.

A tradução dos diversos diplomas legais aplicados ao planeamento e gestão de recursos hídricos realizada neste trabalho pretendeu facilitar a interpretação e implementação dos conceitos legais aplicáveis. Com este trabalho passou-se a dispor de um modelo de dados geográficos em que esta tradução legal é declarada.

## 1.1 Motivação

As imposições legais e técnicas colocadas aos Estados Membros (EM) europeus em matéria de produção, gestão, e partilha de informação geográfica sobre o planeamento e gestão de recursos hídricos são agora bem mais exigentes que no passado, impondo precisão conceptual, consistência lógica e capacidade descritiva na representação dos elementos físicos dos sistemas reais a modelar.

Este facto, aliado à obrigação de relato para sistemas de informação europeus como o EIONET<sup>10</sup>, o GMES<sup>11</sup> e o WISE, implica o desenvolvimento e implementação de modelos de dados que possam responder cabalmente a estas necessidades, sem, no entanto, descurar os aspectos de gestão quotidiana, nos quais se incluem a produção cartográfica, a análise espacial e modelação matemática, e o suporte a elementos resultantes das acções de planeamento. Saliencia-se sobre este último aspecto que é essencial transpor para os sistemas de informação institucionais os resultados do exercício de elaboração das figuras de planeamento, de modo a que estes resultados possam ser considerados nos procedimentos de gestão diária. Esta transposição fica evidentemente facilitada com a utilização de um modelo de dados geográficos comum, utilizado tanto pelas equipas de planeamento, como pela instituição responsável pela implementação das directrizes preconizadas no exercício de planeamento. A adopção e implementação de um modelo de dados geográficos permite ainda mitigar o esforço de aquisição e actualização de informação em cada ciclo de planeamento, uma vez que essa informação poderá ser progressivamente actualizada pelas autoridades competentes.

Em instrumentos de gestão territorial como os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), os Planos de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas (POAAP), ou os Planos Directores Municipais (PDM) são ainda frequentes os casos de falta de harmonização entre a informação

---

<sup>10</sup> *European Environment Information and Observation Network*

<sup>11</sup> *Global Monitoring for Environment and Security*

geográfica utilizada e produzida. Os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) serão os primeiros em que a informação geográfica produzida será registada num repositório de informação geográfica estruturado de acordo com um modelo de dados geográficos próprio. Esta obrigação é imposta pelos cadernos de encargos para a elaboração destas figuras de planeamento e acredita-se que contribuirá significativamente para obter processos de planeamento mais céleres e procedimentos de gestão melhor documentados. Refira-se aqui a importância que a política de relato da DQA, através do WISE teve no reconhecimento da importância de se dispor de uma especificação de informação geográfica, da qual faz parte o modelo de dados geográficos.

Considera-se assim pertinente desenvolver modelos formais que descrevam como os objectos físicos reais se representam no espaço territorial, sendo estes baseados num sistema abstracto e bem definido de conceitos que se aplicam a um domínio específico, neste caso, o do planeamento e gestão de recursos hídricos.

O sistema de informação WISE, para o qual os EM relatam informação sobre os exercícios de planeamento e gestão, possui um modelo de dados entidade-relação puramente alfanumérico (Maidens, 2010), o que implica que a informação geográfica esteja dissociada da alfanumérica. Para o relato deste tipo de informação para o WISE a CE optou pelo formato ESRI *Shapefile* (European Commission, 2009c). O modelo de dados WISE é caracterizado por ser um modelo de dados de alto nível, em que o objectivo principal é o de responder a grandes questões sobre o planeamento e gestão de recursos hídricos, e por conseguinte, é propositadamente omisso em dados de pormenor (Lack *et al*, 2009). O modelo de dados WISE está também conceptualmente distante das necessidades impostas pela legislação portuguesa às autoridades competentes, pelo que se justifica organizar os critérios impostos pelo novo enquadramento legal aplicável, em termos de exigências de análise, de produção de informação, de produção cartográfica e em termos de viabilidade de relato, por transformação de dados, de informação para outros sistemas de informação internacionais.

O método de declaração de modelos formais de dados geográficos está preconizado em: i) normas ISO 19100 (aplicadas especificamente à informação geográfica); ii) em documentos técnicos da INSPIRE relativamente à especificação de informação geográfica, e em iii) documentos de normalização nacionais que têm sido publicados (*p.e. swedish standards institute*, 2006). Em Portugal não foi definida, pelas autoridades competentes, uma especificação de informação geográfica que suportasse a legislação portuguesa aplicável ao planeamento e gestão de recursos hídricos, o que dificulta o entendimento comum da realidade neste domínio técnico e científico. No entanto, os métodos preconizados pelas normas ISO 19100, e pelas especificações de dados INSPIRE, são utilizados em projectos como o da operação e execução do cadastro predial em Portugal (SiNErGIC, 2009).

Em Espanha e França, foi testado o desenvolvimento de uma infra-estrutura de informação geográfica de suporte à informação geográfica referente à DQA num cenário de execução

transfronteiriça, tendo sido descritos aspectos de falta de compatibilização sistemática entre os modelos de dados das autoridades competentes do rio Adour-Garonne (França), e do rio Ebro (Espanha), sobretudo no que respeita à estrutura relacional, mas também no que respeita a incompatibilidade de thesaurus<sup>12</sup> (Latre *et al.*, 2005). Estas e outras questões foram identificadas na bibliografia consultada, que é explorada no capítulo 2.

Na certeza de que a implementação da DQA, das directivas anexas e da directiva INSPIRE (INSPIRE, 2007) irá afectar significativamente a forma como se gere e estrutura a informação sobre o espaço territorial face ao recurso água, considerou-se urgente estabelecer uma “ordem das coisas” coerente e consistente relativa à nova política da água.

## 1.2 Objectivos e âmbito

O objectivo geral deste trabalho centra-se na conceptualização e implementação de um modelo de dados geográficos aplicado ao planeamento e gestão de águas superficiais, que permita concretizar quatro principais casos de uso da informação geográfica: i) produção cartográfica; ii) análise espacial e modelação hidrológica e hidráulica; iii) registo dos produtos das tarefas de planeamento de recursos hídricos, nomeadamente relativos aos PGRH; e iv) relato ao WISE. Salientam-se cinco objectivos específicos:

1. estudar e aplicar as normas ISO e especificações INSPIRE na declaração de modelos de dados geográficos sob o princípio da modelação centrada em objectos;
2. desenvolver e implementar as componentes do modelo de dados geográficos resultantes da tradução da legislação aplicável ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais e de suporte às tarefas do seu planeamento;
3. capacitar o modelo de dados para responder às exigências de relato do WISE;
4. suportar a produção das representações cartográficas previstas no âmbito da elaboração dos instrumentos de planeamento de recursos hídricos, nomeadamente através da definição dos elementos de simbologia legalmente impostos;
5. validar e explorar as capacidades funcionais do modelo de dados desenvolvido através da sua aplicação a uma região hidrográfica.

Numa primeira fase do trabalho, procurou-se identificar as normas e especificações relevantes, quer no domínio do planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais, quer no domínio da especificação de informação geográfica, em particular da modelação de dados geográficos. Com base na identificação de requisitos técnicos e funcionais iniciou-se um exercício de tradução dos

---

<sup>12</sup> *Colecção exhaustiva de termos relativos a determinada zona do conhecimento, alfabética e sistematicamente ordenados*

elementos dos diplomas legais que regem os procedimentos do planeamento e gestão de recursos hídricos.

O estabelecimento do âmbito geográfico, técnico e científico do exercício de modelação de dados, de acordo com os princípios estabelecidos pela Lei da Água (Decreto-Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro) e respectivos diplomas complementares, é feito na primeira fase do processo de modelação: a descrição do universo de discurso. As fases posteriores seguiram o processo estabelecido na norma ISO 19109 (ISO 19109, 2005), relativa aos princípios da modelação de dados geográficos, e que incluem: a definição do modelo conceptual, a declaração do modelo lógico de dados e a implementação do modelo físico de dados.

O âmbito do trabalho na aplicação das fases do processo de modelação de dados, uma vez que explora a implementação do modelo de dados e faz prova de conceito de opções de modelação específicas, através da aplicação a exemplos do caso de estudo da região hidrográfica do rio Guadiana. Foram excluídas do exercício de modelação a representação e caracterização das infra-estruturas de abastecimento de água para consumo humano e os sistemas de rejeição. No entanto, são consideradas as infra-estruturas hidráulicas para captação e os locais de rejeição.

Sendo que as especificações de dados dos temas INSPIRE se interligam entre si e que na especificação correspondente ao tema *Hidrografia* (anexo I) (INSPIRE, 2010) estão identificados temas correspondentes à DQA como: *WFDWaterbody*, *WFDSurfaceWaterBody*, ou *WFDRiver*, foi necessário fundir, neste trabalho, a especificação INSPIRE e diversos aspectos da DQA. Estes aspectos estão associados: à caracterização e classificação das massas de água, à identificação das pressões antropogénicas, à definição e implementação dos programas de medidas, ou ainda aos programas de monitorização das massas de água.

A versão da especificação de dados INSPIRE – Hidrografia (INSPIRE D2.8.1.8, 2010) assume a inclusão das entidades geográficas referentes à implementação da DQA no tema 7 (*environmental monitoring facilities*) ou no tema 11 (*area management/restriction/regulation zones & reporting*) do anexo III. Os temas do anexo III da INSPIRE aguardam especificação de dados, pelo que este trabalho pretende também contribuir para o exercício de especificação destes temas no que respeita à representação, classificação e relato dos objectos referenciados pelo exercício de planeamento e gestão de recursos hídricos.

O trabalho que se descreve nesta dissertação desenvolveu e testou abstrações de representação geográfica e caracterização de sistemas reais com vista ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais com o objectivo de responder a questões analiticamente complexas a partir de sistemas de informação geográfica. As premissas que pautaram o desenvolvimento deste trabalho foram as seguintes:

- traduzir os requisitos legais e técnicos aplicados ao planeamento e gestão de recursos hídricos num modelo de dados geográficos específico, capaz de suportar o registo e gestão da informação no domínio das águas superficiais;
- integrar informação geográfica e alfanumérica num único repositório de dados que apresente claras vantagens de integridade e consistência de dados quando implementada numa estrutura relacional de base de dados;
- possibilitar o relato ao WISE, para o qual os Estados-Membros (EM) europeus que implementam a DQA estão obrigados a reportar informação sobre recursos hídricos;
- definir as regras de caracterização e representação dos objectos físicos do espaço territorial relevantes no âmbito do planeamento e gestão das águas superficiais de acordo com um cariz de cinco dimensões, em que além da natureza tridimensional das representações (x, y, z), se consideram características temporais (t) (p.e. séries temporais de dados de monitorização e ciclos de vida da informação) e de medida (m) (utilizados para referência linear ou pontual de dados através de geocódigos);
- promover o conhecimento e utilização das normas ISO aplicáveis à especificação de informação geográfica (ISO 19100) e potenciar a transformação de dados de acordo com as especificações de dados dos temas da INSPIRE;
- capacitar a utilização dos objectos geográficos modelados em aplicações de simulação hidrológica e hidráulica.

O MDG desenvolvido fornece o formalismo conceptual de base para uma linguagem comum sobre a representação dos objectos a considerar no âmbito da caracterização das massas de água superficiais.

Foi dado enfoque aos aspectos da especificação de informação geográfica através do desenvolvimento do modelo de dados geográficos, secundarizando-se os aspectos de aquisição de informação, controlo de qualidade dos dados, metainformação, transformação estrutural de dados e de casos de utilização da base de dados geográficos para aplicação a casos reais.

Adoptam-se tecnologias específicas, nomeadamente proprietárias, para a declaração do modelo de dados e para a demonstração de conceitos e funcionalidades; no entanto, a solução de modelo de dados geográficos foi desenvolvida com o objectivo de oferecer independência tecnológica. Nesse sentido, considerou-se relevante desenvolver um modelo de dados geográficos que:

- aplique os conceitos expressos nos diplomas legais internos que regem a política da água;
- adopte as representações geográficas das classes de entidades adequadas e a respectiva apresentação cartográfica ou visualização;
- estabeleça um conjunto mínimo de propriedades dessas classes que potenciem o seu uso em processos de simulação de fenómenos ambientais e de análise espacial;

- sirva de suporte ao registo dos elementos produzidos na elaboração dos instrumentos de planeamento e gestão previstos (nomeadamente os PGRH);
- possibilite o relato de informação sobre o estado de implementação da DQA através do sistema WISE;
- considere os critérios das especificações de informação geográfica dos temas da infraestrutura de informação geográfica europeia (INSPIRE) e facilite a transformação de dados de acordo com as especificações aplicáveis, nomeadamente a INSPIRE - Hidrografia.

Considera-se assim evidente a necessidade de um exercício de modelação de dados geográficos que suporte os elementos da DQA e possibilite a concretização dos aspectos supracitados.

### 1.3 Estrutura da tese

No capítulo 1 apresenta-se, integrados na introdução, a motivação, os objectivos e o âmbito do trabalho, bem como as premissas para o seu desenvolvimento. Apresenta-se no capítulo 2 uma descrição do estado da arte referente às metodologias e tecnologias afectas ao processo de modelação de dados geográficos em geral, e dos exemplos de aplicação mais relevantes sobretudo nos domínios da hidrografia e hidrologia.

O capítulo 3 é dedicado às referências normativas, como as normas 19100 da *International Organization for Standardization* (ISO) e as especificações INSPIRE. Estas normas e especificações pautaram o desenvolvimento do modelo de dados geográficos em causa com recurso à notação UML segundo o paradigma da programação centrada em objectos. É neste capítulo seguido um método de modelação de dados composto por quatro fases, inspirado nas normas ISO 19103 e 19109 a definição do universo de discurso, o modelo conceptual (esquema conceptual), o modelo lógico (esquema de aplicação) e o modelo físico de dados (implementado num sistema de gestão de base de dados). Este método tem como produtos o catálogo de entidades e o dicionário de dados, que são apresentados e discutidos também neste capítulo. Os conceitos preconizados por sistemas de informação como o WISE são tidos em conta para partilha de dados, neste caso entre os estados membros e a Comissão Europeia.

O capítulo 4 descreve o desenvolvimento do modelo lógico de seis pacotes UML através de diagramas de classes UML, referentes a: elementos de hidrografia; aos programas de monitorização e avaliação do estado das massas de água; as séries temporais de observações e medidas; aos programas de medidas para mitigação do risco de não cumprimento dos objectivos ambientais preconizados pela DQA; à representação da rede hidrográfica; e, à caracterização dos objectos geográficos através de classes alfanuméricas. Estes seis pacotes UML correspondem a dez diagramas de classes UML de um total de 41 diagramas de que é composto todo o MDG desenvolvido. São representados 93 conjuntos de geográficos, uma rede geométrica, 89 tabelas

alfanuméricas, 189 associações, 7 grupos de regras topológicas e 136 listas codificadas de valores.

O capítulo 5 é dedicado à descrição dos procedimentos de implementação do esquema de aplicação do MDG num sistema de gestão de base de dados, à gestão dos códigos identificadores dos objectos geográficos e alfanuméricos e ao carregamento de informação geográfica. No âmbito do processo de carregamento de informação são evidenciadas as características do MDG para possibilitar análises em rede e associar objectos geográficos a essa rede, representar elementos por referência linear e pontual através de geocódigo, capacitar o registo dos elementos resultantes das acções de planeamento, cumprir as necessidades de relato ao WISE, e capacitar a produção cartográfica prevista no âmbito da elaboração dos planos de gestão de região hidrográfica (PGRH).

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões. Do estudo e trabalho produzidos ficou patente a distância conceptual e lógica entre os objectos do MDG desenvolvido e os objectos do WISE. Diferença esta evidenciada por o WISE não contemplar objectos geográficos no seu modelo de dados, e por se focar na informação sobre as grandes linhas estratégicas da política europeia da água, não considerando, portanto, conceitos estruturantes da política da água portuguesa, como os conceitos de: domínio público hídrico, zonas adjacente ou margem, ou ainda conceitos subjacentes à emissão de títulos de utilização de recursos hídricos, para dar apenas alguns exemplos. Também as especificações INSPIRE, nomeadamente a especificação de dados sobre hidrografia, remete os conceitos DQA para uma especificação a desenvolver futuramente no âmbito do anexo III, tema 11, relativo a zonas de gestão/restricção/regulamentação e unidades de referência. O MDG procurou fundir, quer os requisitos WISE quer os requisitos INSPIRE, para cumprir os casos de uso já referidos. O MDG resultou assim num produto directamente implementável, modular, tendencialmente universal e extensível nas componentes estática (estrutura de dados) e dinâmica (métodos de comportamento dos objectos).

No capítulo 7 apresenta-se as perspectivas de desenvolvimento futuro deste trabalho. Destacam-se as estratégias e objectos de investigação que se propõem para a área da especificação de informação geográfica aplicada ao planeamento e gestão de recursos hídricos. O trabalho a desenvolver aplica-se tanto a componentes tecnológicas, como a componentes de especificação de informação geográfica, no âmbito das quais se procurará melhorar as funcionalidades de cálculo, análise espacial, partilha e transformação de dados neste domínio do conhecimento.

O anexo digital da dissertação (em CD-Rom) contém o modelo lógico de dados desenvolvido e os respectivos produtos, nomeadamente: o diagramas de classes UML (formato HTML), o catálogo de entidades e dicionário de dados (formato HTML), o ficheiro de implementação da base de dados (*XML Workspace Document*) e a base de dados geográficos implementada com metadados e regras topológicas. Os elementos de simbologia para representação cartográfica são também disponibilizados.



## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Modelação de dados geográficos

A modelação de dados geográficos consiste num processo de declaração de sistemas do mundo real através da representação geográfica das entidades reais que o constituem, válidos para um dado domínio técnico ou científico (OGC, 2003; ISO 19107, 2003). Entende-se por dados geográficos quaisquer dados com uma referência directa ou indirecta a uma localização ou zona geográfica específica. Por objecto geográfico entende-se a representação abstracta de um fenómeno real relacionado com uma localização ou zona geográfica específica (INSPIRE, 2007). O conceito de fenómeno é aqui referido como associado a tudo o que a consciência ou os nossos sentidos podem apreender.

No processo de modelação de dados geográficos são utilizadas técnicas de notação, como a UML, que ajudam a sistematizar os termos e conceitos subjacentes à interpretação da realidade e a organizá-los de acordo com as associações que estabelecem entre si. Nesse sentido, as classes de objectos representadas num modelo de dados geográficos e as respectivas associações, constituem as duas primitivas de base para o processo de modelação de dados geográficos (Worboys *et al.*, 1990). Estudos detalhados sobre a percepção do espaço territorial e a forma de o representar e caracterizar podem ser encontrados em Egenhofer *et al.* (1990) e Silva e Videira (2005).

A necessidade de uma representação geográfica unificada em vários domínios científicos tem sido amplamente defendida por diversos investigadores como Couclelis (1992), Peuquet *et al.* (1998), Cova e Goodchild (2002), Voudouris *et al.* (2005), Kjenstad (2006) e Goodchild *et al.* (2007). Também Raper (1999) argumenta que a representação geográfica é essencial para a ciência na medida em que disponibiliza a base para a correspondência entre a teoria e o mundo real. A representação geográfica de sistemas reais determina o enquadramento metodológico e analítico no âmbito do qual os cientistas desenvolvem o seu trabalho. Regista-se, portanto, alguma actividade de investigação, com maior ênfase a partir da década de 90, no desenvolvimento de representações geográficas digitais unificadas aplicadas a diferentes níveis de abstracção, nomeadamente a nível conceptual, lógico e físico. Os documentos de enquadramento para o desenvolvimento das especificações de informação geográfica da infra-estrutura espacial europeia (INSPIRE) são um exemplo paradigmático do recurso à informação geográfica e às metodologias de modelação de dados geográficos. A informação geográfica e os modelos de análise espacial providenciam, de facto, uma capacidade de entendimento dos sistemas reais conceptualmente mais sólido e semanticamente mais rico, viabilizando tomadas de decisão quase em tempo real e que têm em conta a influência dos diversos factores territoriais (Decreto-Lei n.º 180/2009, de 7 de Agosto).

Deve salientar-se que o termo “modelo de dados” é também utilizado noutros contextos para definir formas de representação de dados geográficos, sendo que estas formas de representação se dividem em dois tipos: modelo de dados matricial; e modelo de dados vectorial. O primeiro tipo mais adequado para representar variáveis de natureza espacial contínua (como a temperatura, a precipitação ou a altimetria) e o segundo mais adequado para representar variáveis de natureza discreta (como estação de monitorização, barragem ou captação de água).

Embora exista um esforço considerável a nível mundial para uniformizar nomenclaturas e procedimentos nesta área científica, nomeadamente através de consórcios de produtores de cartografia e fornecedores de serviços de informação geográfica, continuam a coexistir distintas interpretações, critérios e procedimentos no seio das comunidades científicas que contribuem para a descrição das representações computacionais do espaço geográfico. Câmara (1995) sugere o paradigma dos quatro universos aplicado à informação geográfica, em que faz referência a quatro passos entre a percepção do mundo real e a sua implementação numa plataforma computacional, a saber: os universos ontológico, formal, estrutural e de implementação. A norma ISO 19109, as disposições de execução INSPIRE (nomeadamente a *INSPIRE D2.5: Generic conceptual model*) e a norma do modelo de referência do OGC: *OGC Reference Model* (OGC, 2008) aplicáveis à especificação de informação geográfica, identificam também quatro níveis de abstracção no processo de modelação de dados geográficos: o universo de discurso ou nível do mundo real; o modelo conceptual ou nível de representação conceptual; o modelo lógico ou nível de apresentação; e o modelo físico ou nível de implementação.

Podem apontar-se como exemplos de modelos lógicos (esquemas de aplicação) conformes com a norma ISO 19109, o NEM 3610 holandês, o AFIS-ALKIS-ATKIS alemão (GeoInfoDoc, 2006), o SOSI norueguês (*Systematic Organization of Spatial Information*; Lillethun, 2005), o INTERLIS-based models suíço, o GeoSciML da *Geological Surveys*, o EuroRoadS, o CityGML e a WaterML (especificações candidatas do OGC).

É sugerido por Câmara (1995) que no primeiro universo se introduza a noção de ontologia, que é definida como o campo da filosofia cujo objectivo é descrever os tipos e estruturas de entidades, eventos, processos e relações que existem no mundo real. Segundo Câmara (1995), pretende-se responder a perguntas como: que classes de objectos são necessárias para descrever a realidade que pretendemos representar? No segundo universo, universo formal, o autor inclui os modelos conceptuais que generalizam os conceitos do universo ontológico. Inclui-se neste universo o modelo entidade-relação (Chen, 1976). O terceiro passo, constituído pelo universo estrutural, é onde as diversas classes de entidades dos modelos conceptuais são mapeados para estruturas de dados geográficos e alfanuméricos e algoritmos que realizam operações. Este universo responde a questões como: que tipos de dados e operações são necessários para apresentar os elementos do modelo do universo formal?. Este autor considera que nos aspectos do universo estrutural estão incluídas as arquitecturas dos sistemas de gestão de base de dados (SGBD), conversões de dados, interoperabilidade, e disseminação de dados na Internet. O universo de

implementação contempla o processo de representação computacional. Neste universo, realiza-se a implementação do sistema, no qual devem ser tidos em conta aspectos de arquitecturas, linguagens, e paradigmas de programação.

Em síntese, o paradigma dos quatro universos, proposto por Câmara (1995), prevê a identificação das entidades do mundo real; posteriormente prevê a criação de modelos formais nos quais são descritas essas entidades; de seguida, prevê a definição das estruturas de dados e operações que melhor se adaptam aos modelos formais propostos; e, finalmente, prevê a sua implementação computacional. Bento e Matos (1998) defendem que um modelo de dados se pode descrever e/ou especificar a níveis de abstracção diversos e recorrendo a diferentes metodologias. Também a área técnico-científica em que se enquadra, bem como as funcionalidades que proporciona, devem ser tidas em conta na sua elaboração.

Muita investigação foi dinamizada relativamente à gestão de informação geográfica. As abordagens iniciais na área dos SIG, durante os anos 60 e 70, esforçaram-se por desenvolver representações geométricas precisas e implementações de operações entre os objectos geográficos, denominadas correntemente como operações de geo-processamento. No entanto, poucos esforços tinham sido até então desenvolvidos na associação entre dados geográficos e dados alfanuméricos tendo como base os SGBD como soluções para armazenamento, acesso e interrogação. Como consequência, a gestão de dados geográficos era frequentemente dividida em dois tipos de processamento: um para os dados geográficos e outro para os atributos de dados convencionais e as suas associações com os dados geográficos. Apesar do eficiente processamento de dados alfanuméricos apenas poder ser atingido com recurso a um SGBD, a gestão de dados geográficos, devido à sua complexidade, não é possível com recurso a um SGBD convencional puramente alfanumérico (Frank, 1988). Já nos anos 80 assistiu-se ao surgimento das metodologias de modelação de dados centrada em objectos (Blaha *et al.*, 1988) e à sua aplicação à especificação de informação geográfica (Egenhofer e Franck, 1989).

Assim, nos últimos 25 anos tem-se assistido a um esforço substancial na área dos SGBD para dar suporte à informação geográfica. Esse esforço abrange sectores como: o desenho de estruturas físicas e métodos de acesso; a investigação de processos de interrogação e técnicas de optimização; interfaces visuais; entre muitos outros (Viqueira *et al.*, 2005).

Em termos tecnológicos, o SGBD Oracle disponibiliza, desde a sua versão 4, algumas das funcionalidades de armazenamento de dados geográficos (conhecida então como *Multidimension*). Só a partir da sua versão 7.3.3, em 1992, disponibilizou a *Spatial Data Option* (SDO), e desde a versão 8, em 1999, passou a denominar esta funcionalidade de Oracle Spatial. O desenvolvimento das funcionalidades do *Oracle Spatial*, foi realizado com o apoio do Serviço Hidrográfico Canadano (*Canadian Hydrographic Service – CHS*) e em conformidade com as especificações do *Open Geospatial Consortium* (OGC) aplicáveis. Este é um dos muitos exemplos de desenvolvimento de funcionalidades de armazenamento, acesso, e representação de informação

geográfica utilizando SGBD relacionais. Muitas outras empresas produtoras de soluções de SGBD desenvolveram esforços para possibilitar o armazenamento de informação geográfica. Nestas contam-se também diversas comunidades de software livre, como é o caso do SGBD objecto-relacional PostGreSQL, com a sua extensão para informação geográfica PostGIS (Refractions Research, 2011).

As extensões espaciais dos SGBD Oracle® (*Oracle Spatial*) e PostGreSQL (*PostGIS*), cumprem a especificação Open GIS SFS. Esta norma declara uma estrutura de dados própria para armazenar entidades geográficas vectoriais simples (como pontos, linhas e polígonos), recorrendo a um SGBD relacional. Por esse facto, é considerada a especificação de base para o armazenamento de informação geográfica num SGBD.

Existem, no entanto, diversas soluções de software que podem ser utilizadas para substituir a componente espacial dos SGBD, sendo que nestes casos é criada uma estrutura de dados própria da solução de software utilizada: é o caso da TerraLib (Vinhas e Ferreira, 2005), e o caso do ArcGIS Server® (ESRI, 2011), apenas para citar dois exemplos. Este tipo de soluções de armazenamento de informação geográfica em SGBD relacionais mimetiza o papel das extensões espaciais dos SGBD, criando para isso uma estrutura de dados própria para armazenar e permitir gerir informação geográfica através de aplicações próprias do produtor de software. Os aspectos de codificação, meta-informação e visualização de informação geográfica com objectivos de interoperabilidade e integração são discutidos em Rocha (2005).

## 2.2 Procedimentos e ferramentas para a modelação de dados geográficos

A linguagem esquemática UML é a sugerida pela ISO para a especificação dos modelos conceptuais e de aplicação de informação geográfica (ISO 19103 e ISO 19109). A UML resulta da fusão de conceitos dos métodos de Booch (Booch, 1994), OMT (Rumbaugh *et al.*, 1991) e OOSE (Jacobson *et al.*, 1992), tendo sido adoptada como um padrão da indústria nos anos subsequentes. A gestão das especificações da UML, actualmente na sua versão 2.3<sup>13</sup>, está a cargo do *Object Management Group* (OMG, 2010). Esta versão é composta por treze tipos de diagramas agrupados em: i) diagramas de estrutura; e, ii) diagramas de comportamento. De salientar que a UML é relativamente limitada no que respeita à capacidade de especificação de certos elementos descritivos da informação geográfica, nomeadamente: controlo da qualidade dos dados geográficos; sistemas de referência geográfica ou temporal; e distintas formas de apresentação da informação geográfica. De forma a colmatar algumas destas limitações houve empresas de software proprietário, como a ESRI (ESRI, 2003a), que desenvolveram estereótipos UML próprios para a modelação de dados geográficos.

---

<sup>13</sup> [www.omg.org/spec/UML/2.3](http://www.omg.org/spec/UML/2.3)

Tanto as normas ISO, como as especificações da iniciativa INSPIRE, recorrem à UML para especificar a representação geográfica e caracterização alfanumérica de fenómenos do mundo real. Variantes da UML, com estereótipos específicos, têm sido exploradas em diversos projectos e para um alargado espectro de domínios científicos, de que são exemplo: o OMT-G (Borges *et al.*, 2001); o modelo UML-Geo-Frame (Filho *et al.* 2004); o modelo GeoOOA (Kösters, 1997); o modelo MADS (Parent *et al.*, 1999); GeoIFO (Hadzilacos e Tryfona, 1996); MGEO (Times, 1994) e o modelo UML+SpatialPVL (Bédard, 1999).

Estas e outras notações têm sido utilizadas para especificar entidades reais que se pretendem traduzir através de objectos geográficos colmatando assim algumas das limitações da UML para especificar aspectos específicos da informação geográfica. Como ferramentas UML utilizadas na especificação de informação geográfica pode citar-se o *Rational Rose*<sup>14</sup> (utilizado pelas equipas da ISO – TC 211), o *Enterprise Architect*<sup>15</sup> (utilizado pelas equipas de elaboração das disposições de execução INSPIRE) e a solução de código aberto denominada ArgoUML<sup>16</sup> (Bunyakiati e Finkelstein, 2009).

A utilização das denominadas FOSS4G (*Free and Open Source Software for Geospatial*) tem também evoluído significativamente no âmbito da transformação de dados entre diferentes estruturadas, nomeadamente adaptando-se às exigências das disposições de execução da INSPIRE. Exemplos de implementação da transformação, armazenamento e partilha de informação geográfica através da utilização de software aberto e/ou livre são aplicados no projecto Deegree 3 InspireNode<sup>17</sup> e no projecto *GeoNetwork*<sup>18</sup> (GeoNetwork, 2011). Ambos catalogam e gerem fontes de informação geográfica em plataformas distribuídas na Internet, sendo as suas componentes utilizadas em diversas infra-estruturas de informação geográficas, nomeadamente para gestão por metadados.

No âmbito da transformação de dados entre diferentes estruturas destaca-se a *GeoKettle*<sup>19</sup>, uma ferramenta esquemática para a extracção, transformação e carregamento (ETL: *Extract, Transform and Load*) de informação geográfica em diversos formatos e repositórios de dados geográficos. Uma descrição sumária das ferramentas para extracção, transformação e carregamento para informação geográfica pode ser encontrada em Arévalo *et al.* (2010).

Como bibliotecas com aplicação à manipulação de elementos de informação geográfica destacam-se: a JTS (funções para processamento de geometrias); a GeoTools (para desenvolvimento de aplicações Java para SIG); a Deegree (aplicável a infra-estruturas de dados geográficos);

---

<sup>14</sup> <http://www-01.ibm.com/software/rational/>

<sup>15</sup> <http://www.sparxsystems.com/>

<sup>16</sup> <http://argouml.tigris.org/>

<sup>17</sup> <http://wiki.deegree.org/deegreeWiki/InspireNode>

<sup>18</sup> <http://geonetwork-opensource.org/>

<sup>19</sup> [www.spatialytics.org/projects/geokettle/](http://www.spatialytics.org/projects/geokettle/)

Sextante (funcionalidade para geoprocessamento de informação para aplicações *Java*); GDAL/OGR (*Geospatial Data Abstraction Library*); GEOS (*Geometry Engine, Open Source*); GeoExt (aplicável ao desenvolvimento de aplicações *WebGIS* com *JavaScript*); FDO (*Feature Data Object*, dedicada à manipulação, definição e análise de informação geográfica multi-formato); MetaCRS (para gestão de projecções e sistemas de coordenadas); PostGIS (para suporte a objectos geográficos no SGBD PostgreSQL) e a DotSpatial.

O projecto *DotSpatial* (Dunsford *et al.*, 2009) foi desenvolvido pela comunidade .NET da OSGeo<sup>20</sup> (*Open Source Geospatial Foundation*) com o objectivo de fornecer um conjunto de bibliotecas livres, de código aberto para plataformas .NET, Silverlight e Mono<sup>21</sup>, que permitisse aos programadores incorporar dados geográficos, análises e funções de mapeamento neste tipo de aplicações. O desenvolvimento da aplicação *HydroDesktop* (Whiteaker, 2010) é baseado nas bibliotecas *DotSpatial*, sendo actualmente utilizada na operacionalização de uma infra-estrutura de informação geográfica para observações hidrológicas (Horsburgh, 2011).

As ferramentas CASE (*Computer Aided Software Engineering*) têm como uma das suas funções dar suporte à modelação de dados. Existem diversas ferramentas que, de um modo geral, produzem ficheiros XMI (*XML Metadata Interchange*) onde estão descritos os modelos de dados a implementar. O XMI permite o armazenamento em formato XML (W3C) da modelação esquemática produzida em UML. A maioria das ferramentas CASE tem a capacidade de produzir este tipo de ficheiros, aproveitando assim as vantagens do XML para definição, validação e partilha de informação. Muitos dos sistemas computacionais partilham dados no formato binário, que apenas é interpretado por computadores; no entanto, é também possível que os computadores partilhem informação em formatos interpretáveis por humanos, sendo o XML um desses exemplos.

Embora existam diversas ferramentas para a modelação de dados geográficos e diferentes estereótipos UML, a partir dos quais é possível especificar elementos de informação geográfica, continuam a não existir soluções consolidadas que consigam gerar ficheiros XMI de tal forma uniformizados e interpretáveis por todas as soluções de software de sistemas de gestão bases de dados geográficos. A linguagem que eventualmente cumprirá este objectivo será a GML (*Geography Markup Language Encoding Standard*)<sup>22</sup>. Note-se que a GML é considerada uma linguagem para partilha de dados e não um formato de dados. A GML (norma ISO 19136:2007 e OGC 07-036) consiste numa linguagem XML para declarar entidades geográficas, sendo encarada como um formato interoperável para armazenamento de informação geográfica e transacções geográficas na Internet. Tal como a maioria das linguagens baseadas em XML, é composta por duas partes: o esquema, que descreve o documento; e o documento instanciado, que contém os

---

<sup>20</sup> [www.osgeo.org](http://www.osgeo.org)

<sup>21</sup> [www.mono-project.com](http://www.mono-project.com)

<sup>22</sup> [www.opengeospatial.org/standards/gml](http://www.opengeospatial.org/standards/gml)

dados. Este tipo de estruturação permite aos utilizadores e programadores descrever conjuntos de dados geográficos genéricos. O principal conceito da GML é o conceito de entidade, sendo a entidade interpretada como uma abstracção de um fenómeno do mundo real, por exemplo um objecto físico. O estado dessa entidade é definido por um conjunto de propriedades que, de um modo geral, são definidas por: nome, tipo, e valor. As propriedades espaciais são aquelas que têm como valor um objecto geométrico (p.e. uma linha, ponto ou polígono).

Algumas comunidades científicas desenvolverem já padrões de descrição e caracterização de informação geográfica específica para os seus domínios científicos. São exemplos desses padrões os esquemas GML: o GeoSciML<sup>23</sup> (aplicado a dados geológicos); o LandGML<sup>24</sup> (aplicado a projecto de engenharia civil e levantamentos topográficos) e o NcML-GML<sup>25</sup> (extensão da netCDF *Markup Language* – ncML, aplicada à gestão de dados científicos multi-dimensionais).

Actualmente, a linguagem GML não é ainda suportada nativamente por uma parte significativa das aplicações SIG *desktop* existentes, quer sejam proprietárias, quer sejam livres ou de código aberto. No entanto, a GML tem vindo a afirmar-se nos últimos anos como a linguagem de codificação da geometria e atributos da informação geográfica que, sendo independente da plataforma computacional, constitui hoje uma das mais promissoras soluções para partilha de informação geográfica, nomeadamente através de serviços de dados geográficos. Apesar do seu modelo de codificação de informação geográfica estar totalmente documentado, e ser do domínio público, não deixa de constituir uma especificação extensa e complexa para a maioria dos utilizadores. Acredita-se que a sua adopção progressiva pela maioria das soluções de software SIG retire, numa perspectiva de médio-longo prazo, a posição dominante de alguns dos formatos actualmente mais utilizados, como o ESRI *shapefile* (.shp), MapInfo (.map), ou *GeoMedia* (MSAccess® MDB).

O OGC disponibilizou uma ferramenta computacional (de código aberto) para a conversão de modelos de dados declarados em UML (compatíveis com a ISO 19109) para a linguagem GML (esquemas XML), denominada *ShapeChange*<sup>26</sup> (Portele, 2005). Salienta-se que a aplicação desta ferramenta implica o conhecimento das normas: ISO 19136; ISO 19139; ISO 19118 e ISO 19103.

O ArgoCASEGEO (Sodre *et al.*, 2004) é outro dos exemplos de uma ferramenta CASE que, a partir de um módulo de software próprio (MGA – Módulo de Geração Automática) converte os diagramas de classes desenhados com base no modelo conceptual UML-GeoFrame, em diversos formatos, a saber: ESRI *shapefile*, esquemas lógicos do *GeoMedia* da Intergraph; formato da biblioteca de componentes espaciais TerraLib (Câmara *et al.*, 2002).

---

<sup>23</sup> *Geoscience Markup Language* ([www.geosciml.org](http://www.geosciml.org))

<sup>24</sup> [www.landxml.org/](http://www.landxml.org/)

<sup>25</sup> [www.unidata.ucar.edu/projects/THREDDSGALEON/TestDatasets/NcMLAndGML.htm](http://www.unidata.ucar.edu/projects/THREDDSGALEON/TestDatasets/NcMLAndGML.htm)

<sup>26</sup> [www.ogcnetwork.net/ugas](http://www.ogcnetwork.net/ugas)

### 2.3 Iniciativas de normalização de informação geográfica

O processo de especificação de informação geográfica tem sido alvo de normalização por diversas organizações, como: a *International Organization for Standardization* (ISO); o OGC; o *Federal Geographic Data Committee* (FGDC); e, mais recentemente, os grupos de trabalho da INSPIRE (infra-estrutura de informação geográfica europeia). Sendo estes apenas alguns dos muitos exemplos de iniciativas de normalização dinamizadas por diversas organizações de cariz diversificado.

A ISO estabeleceu em 1994 a Comissão Técnica (CT) 211 - Informação Geográfica e Geomática, com o fim de desenvolver um conjunto estruturado de normas respeitantes a objectos ou fenómenos que estão directa ou indirectamente associados a uma localização relativa à superfície terrestre (ISO/CT 211, 1996 in Rackman, 1997). Os aspectos mais relevantes dos processos de normalização podem ser encontrados em Hesser e Inklaar (1997). Uma análise da interdependência dos elementos presentes nas normas ISO 19100 é apresentada em Coetzee (2011).

Por sua vez, o OGC trabalha em normas para a especificação de informação geográfica desde 1995. De salientar que o OGC define globalmente dois tipos de especificações: abstractas, relativas a serviços de dados geográficos; e de estruturas de dados nos SGBD espaciais para armazenamento de informação geográfica.

O conjunto de normas dedicadas ao suporte da arquitectura tecnológica e interoperabilidade de informação geográfica está a cargo do *OGC Technical Committee* e denominam-se *Abstract Specifications*. Estas normas providenciam um modelo de referência para o desenvolvimento de especificações de informação geográfica e de implementação das tecnologias computacionais associadas. Destas normas destaca-se a OGC 08-126, em estreita ligação com a norma ISO 19101, relativa à definição de abstrações da realidade (Kottman e Reed, 2009) e a norma OGC 01-101 associada à norma ISO 19107, relativa à definição de entidades geográficas. A norma OGC 01-101 constitui a base das seguintes especificações: i) *Open GIS SFS (Simple Feature Specification* - OGC, 2006); ii) *Open GIS Geography Markup Language Implementation Specification* (OGC, 2007); iii) da *Federal Geographic Data Committee's Framework Data Layers*. Em Abril de 2009, foi criado o grupo de trabalho do OGC para o domínio da hidrologia. A sua formação baseou-se no reconhecimento de que a informação sobre recursos hídricos possui uma natureza intrinsecamente espacial e temporal, sendo partilhada frequentemente entre organizações nos vários níveis da administração. O objectivo deste grupo de trabalho é o de estudar e promover a aplicação das normas de interoperabilidade do OGC para o domínio da hidrologia. Este grupo mantém ligações com os grupos de trabalho das ciências dos sistemas terrestres, tais como a meteorologia e oceanos.

Também o *Federal Geographic Data Committee*<sup>27</sup> (FGCD) publicou uma especificação de informação geográfica sobre águas superficiais - hidrografia (FGDC, 2008b). De acordo com a sua descrição, esta especificação pretende estabelecer uma base comum de conteúdo semântico para bases de dados geográficos sobre hidrografia a nível nacional nos Estados Unidos da América. Para a definição desta norma terão contribuído: o *National Hydrography Dataset* (NHD), a *Pacific Northwest Framework* (PNW), o modelo de dados *ArchHydro* (Maidment, 2002), e o *Geographic Names Information System* (GNIS).

Em Maio de 2007, o consórcio de cerca de cem universidades norte-americanas (CUAHSI) publicou a versão inicial do WaterML (Zaslavsky *et al.*, 2007), na qualidade de documento de discussão. Esta iniciativa pretendeu definir um esquema XML para o formato das mensagens devolvidas por um conjunto de serviços *web* sobre observações hidrológicas, denominado *WaterOneFlow*. Estes serviços de dados disponibilizados via Internet são baseados no protocolo SOAP<sup>28</sup>, e estão conformes com as normas OGC, nomeadamente com a norma OGC sobre observações e medidas (Cox, 2007).

## 2.4 Iniciativas de especificação de informação geográfica europeias

A directiva INSPIRE, aprovada em Março de 2007 (Directiva 2007/2/EC), estabelece um enquadramento legal para a criação gradual e harmonizada de uma infra-estrutura europeia de informação geográfica, focada essencialmente nas necessidades de informação geográfica para as políticas ambientais. Foi transposta para a ordem jurídica interna portuguesa com a publicação do Decreto-Lei n.º 180/2009, 7 de Agosto. No mesmo diploma constituiu-se: i) o registo nacional de dados geográficos, com a função de recolher, sistematizar e publicitar a produção cartográfica, através dos seus metadados; e, ii) o perfil nacional de metadados (Silva, 2009). Os requisitos técnicos da INSPIRE são baseados em normas OGC e ISO no âmbito dos quais são definidas as disposições de execução para a codificação de informação geográfica e para a colecção de serviços de dados geográficos a partir dos quais a informação sobre os temas da directiva é partilhada de uma forma harmonizada utilizando a GML 3.2.1 (ISO 19136).

A directiva obriga os Estados Membros da União Europeia a gerirem e a disponibilizarem os dados e os serviços de informação geográfica (SDG) de acordo com princípios e regras comuns (*p.e.* metadados, interoperabilidade de dados e serviços, utilização de serviços de IG, princípios de acesso e partilha de dados). Estão progressivamente a surgir soluções computacionais integradas em soluções SIG (*p.e.* ArcGIS for INSPIRE – ESRI, 2011a) com o objectivo de apoiar o trabalho de organizações governamentais no seu contributo para a infra-estrutura de informação geográfica

---

<sup>27</sup> Consórcio de agências públicas e privadas dos Estados-Unidos da América que definem normas nacionais para uso e partilha de informação geográfica.

<sup>28</sup> Simple Object Access Protocol

européia. Aplicações independentes das soluções SIG permitem igualmente apoiar o trabalho de harmonização de dados de diferentes fontes para uma estrutura GML comum em conformidade com as especificações de dados INSPIRE (*Safe software*, 2011).

No contexto europeu, a informação geográfica utilizada para documentar a aplicação de directivas europeias na área do ambiente tem sido caracterizada pela falta de harmonização entre conjuntos de dados a diferentes escalas geográficas (Ramage e Lovell, 2009). Os desafios da heterogeneidade da informação geográfica no âmbito do sistema WISE são apresentados em Hannerz e Langaas (2007).

Assiste-se frequentemente à fragmentação desses conjuntos de dados, justificada sobretudo pela multiplicidade de fontes de informação e à diversidade de aplicações a que se destinam. A iniciativa INSPIRE, e todo o conjunto de projectos de investigação relacionados, pretendem exactamente contribuir para a elaboração de especificações que contribuam para a harmonização, agregação e partilha de informação no contexto europeu, principalmente através de serviços de dados geográficos distribuídos na Internet. As boas práticas para harmonização de informação geográfica em conformidade com as especificações INSPIRE são apresentadas em Letho (2009) e Foerster *et al.* (2010). O exemplo da transformação do cadastro holandês para os temas da INSPIRE (unidades administrativas, parcelas cadastrais, toponímia, hidrografia e redes de transportes) através dos respectivos serviços de dados geográficos é apresentado em Georz-Lab Research (2011).

Por outro lado, a produção de informação geográfica com vista à utilização em representações cartográficas é feita maioritariamente pelas agências de cartografia nacionais para escalas locais, regionais e nacionais que visam responder a necessidades temáticas específicas. Estes factos implicam necessariamente dificuldades de harmonização no que respeita a objectivos de caracterização do estado do ambiente para uma escala europeia. De notar ainda que, grande parte da produção de informação geográfica ao nível europeu, muita da qual produzida por instituições como a Agência Europeia do Ambiente, o EUROSTAT e o *Joint Research Centre*, satisfaz propósitos estatísticos próprios que, embora úteis, não respondem cabalmente às necessidades das autoridades competentes para o planeamento e gestão de recursos hídricos em cada um dos estados-membros.

Com o objectivo de harmonizar a disponibilização de informação geográfica a nível europeu, nomeadamente para suportar a infra-estrutura de informação geográfica europeia, têm vindo a ser elaboradas as especificações de dados geográficos dos temas dos anexos da directiva INSPIRE (anexos I e II), sendo o tema hidrografia (anexo I) uma dessas especificações (INSPIRE, 2010). A INSPIRE abrange 34 temas distribuídos pelos seus 3 anexos. Da análise da especificação sobre hidrografia constata-se que diversos conceitos preconizados na DQA não constam desta especificação, mas são pontualmente considerados em temas do anexo II e III, como é o caso da

caracterização hidrogeológica de massas de águas subterrâneas (anexo II, tema “geologia”), ou o caso de zonas de risco de inundação (anexo III, tema “zonas de risco natural”).

Dada a natureza transfronteiriça do tema do planeamento e gestão de recursos hídricos impunha-se a nível europeu uma estreita ligação entre sistemas de informação relativos à componente água. No entanto, é evidente, sobretudo no que respeita ao WISE e INSPIRE, uma dissociação entre os elementos considerados. A mesma dissociação se nota em sistemas como o GMES, EIONET – *ReportNet*<sup>29</sup>, SEIS<sup>30</sup> e a variados outros sistemas de informação que suportam decisões de política ambiental europeias.

De facto, a especificação INSPIRE sobre o tema hidrografia (INSPIRE - Hidrografia), datada de Dezembro de 2008 e actualizada para a versão 3.0.1 em Abril de 2010 (INSPIRE D2.I.8, 2010), não incorpora muitos dos conceitos que necessitam de ser modelados no âmbito da implementação da DQA. Além das classes geográficas da especificação INSPIRE - Hidrografia apresentarem, de um modo geral, uma distância conceptual assinalável, quando comparadas com as classes do WISE, muitas das classes da especificação são demasiado generalistas para suportarem uma visão regional sobre o planeamento e gestão de recursos hídricos e os objectivos preconizados pela DQA. A especificação INSPIRE - Hidrografia não contém conceitos essenciais como o de região hidrográfica, o de autoridades competentes (equivalente às administrações de região hidrográfica), ou o de zonas protegidas, entre muitos outros. Acrescenta-se ainda que nenhum sistema de codificação dos previstos no modelo de dados do WISE (*p.e.* identificação unívoca europeia de massas de água, codificação da hierarquia hidrológica (*p.e.* Pfafstetter, 1989), ou tipificação de categorias de massas de água) é implementado ao nível da especificação INSPIRE - Hidrografia. Descreve-se em Charneca (2006) os requisitos dos elementos SIG no contexto da implementação da DQA com vista ao desenvolvimento de um modelo de dados geográficos.

Tais falhas dificultam a interoperabilidade, o acesso e a harmonização entre conjuntos de dados geográficos, quer entre os diversos níveis da administração (local, regional, nacional e europeia), quer entre as várias instituições com responsabilidades na implementação da política ambiental.

O registo dos termos e conceitos de suporte à implementação da directiva INSPIRE é de acesso público através do *INSPIRE Feature Concept Dictionary* (IFCD). O IFCD é utilizado para suportar o desenvolvimento de todos os modelos lógicos (esquemas de aplicação) de cada tema da INSPIRE. As disposições de execução da INSPIRE adoptam, para a definição do dicionário de

---

<sup>29</sup> *Infra-estrutura de suporte ao relato de informação no contexto europeu integrada na EIONET (European Environment Information and Observation Network). A Reportnet consiste num conjunto de ferramentas que estimulam e facilitam a partilha de informação entre instituições europeias tendo por base a Internet. Suporta actualmente, entre outros, os fluxos de informação do WISE e dos planos de gestão de região hidrográfica no âmbito da implementação da DQA ([www.eionet.europa.eu](http://www.eionet.europa.eu))*

<sup>30</sup> *Shared Environmental Information System (<http://ec.europa.eu/environment/seis>)*

dados, o estabelecido na norma ISO/DIS 19126: “*dictionary that contains definitions of and related descriptive information about concepts that may be specified in detail in a feature catalogue*”.

No dicionário de dados são disponibilizadas as definições dos temas geográficos da INSPIRE e dos tipos de entidades geográficas consideradas nas especificações de dados desses temas. São exemplos de dicionários de dados os seguintes: *Spatial Data Standard for Facilities, Infrastructure, and Environment (SDSFIE)*<sup>31</sup>; *Digital Topographic Data (DTOP)*; *Littoral Warfare Data (LWD)*; *Urban Vector Map (UVMaP)*; *VPF Interim Terrain Data (VITD)*; *World Vector Shoreline Plus (WVSPLUS)*; *Vector Map (VMaP)*; *DGIWG Feature Data Dictionary (DFDD)* e o *NSG Feature Data Dictionary (NFDD)* (NGA, 2010).

Foi também criado no âmbito da INSPIRE, o *INSPIRE Registry* (<http://inspire-registry.jrc.ec.europa.eu/>), no âmbito do qual são mantidos os registos dos conceitos, e respectiva descrição, que suportam o desenvolvimento das especificações de informação geográfica. O *INSPIRE Registry* é composto por um glossário e por um dicionário de dados, que são mantidos conformes com a norma ISO 19135 (*Procedures for item registration*). Este registo não está ainda constituído na sua versão final, uma vez que se encontram em desenvolvimento as especificações dos temas do anexo II e III. A lista de códigos (*code list*) é também referenciada com a descrição dos domínios de valores dos atributos admissíveis para um dado esquema de aplicação. Exemplos de dicionários de listas de códigos são fornecidos com a ISO/TS 19139<sup>32</sup>. Assiste-se progressivamente ao aparecimento de soluções de software com o objectivo de facilitar a implementação das especificações dos diversos temas da INSPIRE, actualmente com maior ênfase para os temas do anexo I.

O documento que especifica a estruturação da informação geográfica no âmbito da implementação da DQA (*European Commission, 2009d*) não aponta directamente um formato ou especificação para a elaboração e disponibilização de um dicionário de dados, remetendo para os esquemas XML do WISE a definição dos conceitos subjacentes à informação geográfica a produzir pelos estados-membros (EM). O documento refere que constarão do dicionário de dados os seguintes elementos:

- nome da classe de entidades (classe);
- definição e descrição dos conceitos (representados pelas classes);
- nome dos atributos da classe;
- descrição e definição do atributo;
- tipo de dados admissíveis como valores do atributo;
- domínio de valores admissíveis, quando aplicável (lista codificada de valores);

---

<sup>31</sup> [www.sdsfie.org](http://www.sdsfie.org)

<sup>32</sup> [http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/ISO\\_19139\\_Schemas/resources/Codelist](http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/ISO_19139_Schemas/resources/Codelist)

- associações em que a classe participa.

De todos os conjuntos de dados geográficos que os EM estão obrigados a relatar à Comissão Europeia no âmbito da política da água, existe um grupo que possui a respectiva especificação de informação geográfica (na qual se inclui o modelo de dados, o dicionário de dados e o catálogo de entidades), e outro que não possui ainda qualquer um destes elementos. As directivas para as quais a Comissão Europeia considera existir uma especificação de informação geográfica são os seguintes:

- DQA;
- relatório do estado do ambiente (WISE-SoE);
- directiva das águas residuais e águas residuais urbanas;
- directiva das águas balneares.

Os conjuntos para os quais a Comissão Europeia considera não existirem ainda os elementos referidos são:

- directiva das águas para consumo humano;
- directiva da avaliação e gestão do risco de inundação (DAGRI);
- directiva da estratégia marítima;
- registo europeu das emissões e transferências de poluentes (PRTR-E).

As organizações da Comissão Europeia que gerem actualmente a implementação da DQA e a respectiva informação geográfica não disponibilizaram ainda todos os elementos que caracterizam os conjuntos de dados geográficos que os EM têm de reportar, à imagem do que já acontece para algumas especificações dos temas da INSPIRE (anexo I e II).

Como exemplos de dicionários que abrangem as políticas ambientais europeias são de referir a base de dados das obrigações de relato *Eionet-ROD*<sup>33</sup> e o *Eionet-Data dictionary*<sup>34</sup>. O *Eionet-ROD (Reporting Obligations Database)* consiste numa base de dados sobre as obrigações de relato dos EM à Comissão Europeia (por via da Agência Europeia do Ambiente e Eurostat), Nações Unidas e OCDE<sup>35</sup>. O *Eionet-Water* é sobretudo um dicionário de apoio técnico aos EM para produção de documentos de relato. Qualquer destes repositórios é útil na modelação de dados geográficos que tenham como finalidade o relato do estado de implementação de políticas ambientais europeias, como é o caso da DQA.

Deve salientar-se que o relato da informação geográfica, feito no âmbito da DQA, tem sofrido sucessivas alterações, dado que a Comissão Europeia considera que a informação já entregue

---

<sup>33</sup> <http://rod.eionet.europa.eu>

<sup>34</sup> <http://dd.eionet.europa.eu>

<sup>35</sup> *Organização para a cooperação e desenvolvimento económico*

não necessita de o ser novamente. No entanto, toda a nova informação deverá estar coerente com a informação entregue anteriormente, como é o caso da informação sobre regiões hidrográficas e autoridades competentes do artigo 3.º da DQA (disponibilizada em 2003), e a informação das massas de água superficiais, subterrâneas e zonas protegidas referentes ao artigo 5º (disponibilizada em 2005).

A Comissão Europeia disponibiliza, no âmbito da rede EIONET, o GEMET<sup>36</sup>. O GEMET consiste num thesaurus de vocabulário ambiental, disponível no endereço: [www.eionet.europa.eu/gemet](http://www.eionet.europa.eu/gemet). Deve salientar-se que, conceptualmente, a INSPIRE admite que o mesmo conceito de tipo de entidade geográfica (*spatial object type concept*) seja utilizado em vários tipos de entidades geográficas com diferentes conjuntos de propriedades, e em diferentes esquemas de aplicação, como aliás advogam as normas ISO.

Na interpretação de que as especificações de dados geográficos da INSPIRE constituem uma base de entendimento comum ao nível europeu sobre cada um dos temas referidos nos seus anexos, estar-se-á a obrigar a que as instituições nacionais extraíam, transformem e disponibilizem os seus dados de acordo com as especificações acordadas a nível europeu. Neste sentido, estes processos de adaptação às especificações europeias serão vistos como um trabalho acrescido que ocupa recursos muitas vezes escassos, e que não resulta num benefício directo evidente para essas instituições. Perante tais factos, seria útil que as especificações de dados dos temas da INSPIRE fossem ao encontro das expectativas e necessidades das instituições nacionais, regionais e locais que implementam as políticas ambientais. No que respeita ao tema da Hidrografia, essas expectativas estão ainda longe de ser preenchidas, dado que se encontram distantes das necessidades reais das instituições, e por se apresentarem como documentos relativamente abstractos e inócuos em termos operacionais.

Analisando, e comparando, a especificação INSPIRE-Hidrografia e o documento-guia de implementação dos elementos SIG da DQA (European Commission, 2009d), percebe-se que nenhuma destas especificações suporta integralmente as necessidades relativas ao planeamento e gestão de recursos hídricos a nível regional preconizados no enquadramento legal português sobre a política da água.

## **2.5 Sistema de informação europeu sobre águas (WISE)**

A primeira especificação de informação de suporte à implementação da DQA foi publicada em 2002 (Vögt, 2002). Esta especificação baseava-se essencialmente na partilha de informação geográfica com base em ESRI *Shapefiles*. Desde essa data foi sendo progressivamente necessário caracterizar diversos aspectos preconizados no articulado da DQA, nomeadamente os

---

<sup>36</sup> *GEneral Multilingual Environmental Thesaurus*

referentes ao artigo 3º (coordenação das disposições administrativas a aplicar nas regiões hidrográficas), artigo 5º (características da região hidrográfica, análise do impacto ambiental da actividade humana e análise económica da utilização da água), artigo 6º (registo das zonas protegidas), artigo 8º (monitorização do estado das águas de superfície e subterrâneas e das zonas protegidas), e, artigo 13º (planos de gestão de região hidrográfica), que considerasse: o conceito de estado de massa de água definida por categorias e tipologias; o conceito de programas de monitorização; o conceito de programas de medidas, objectivos ambientais e cenários prospectivos; ou os conceitos de prorrogação de prazo e derrogação de objectivos ambientais em massas de água ou zonas protegidas. É assim evidente a necessidade de partilhar, quer informação geográfica sobre massas de água, zonas protegidas, zonas de risco ou estações de monitorização, quer informação alfanumérica que caracterize os aspectos de planeamento e gestão de que são alvo as entidades reais a representar geograficamente.

Para cumprir parcialmente este objectivo, foi construída uma aplicação em Microsoft Access, denominada *WISE Desktop Access Tool* (Mills, 2006), que tem como função converter a informação alfanumérica das folhas de relato, em ficheiros XML. Estes ficheiros são, por sua vez, validados contra ficheiros XSD (*XML Schemas*), onde está definida a estrutura que os primeiros devem adoptar. A aplicação foi utilizada para produzir ficheiros XML para relato do artigo 5º da DQA e foi posteriormente adaptada para suportar os dados relativos aos artigos 8º e 13º (Atkins, 2009). De salientar que a base de dados *WISE* não considerava o suporte a informação geográfica, o que actualmente ainda acontece com a versão disponível desta ferramenta (versão 3). Tal facto, implica dissociar a informação geográfica da informação alfanumérica que a descreve, sendo esta a opção actualmente adoptada para reportar informação sobre a implementação da DQA em cada estado-membro através do WISE. Note-se ainda que, para além do WISE, as autoridades produtoras de informação relativa a recursos hídricos estão legalmente obrigadas a partilhar informação através de outros sistemas de informação, como o GMES, EIONET - *ReportNet*, ou o SEIS respeitando necessariamente as regras preconizadas pela directiva INSPIRE.

Os esquemas XML, que determinam os requisitos da informação alfanumérica relativa aos artigos 3º, 5º, e 13º da DQA, estão documentados no trabalho de Lack e Cima (2008). O modelo de dados geográficos, que descreve as classes geográficas e alfanuméricas dos elementos relativos ao artigo 3º da DQA é descrito em Charneca (2007a). A Comissão Europeia tem publicado, inicialmente através do *Joint Research Centre* (JRC), e actualmente através da agência europeia do ambiente, um conjunto de esquemas XML (XSD) que determinam os requisitos de informação alfanumérica a reportar ao WISE. Assim, os sistemas de informação a adoptar pelas autoridades competentes devem ter a capacidade de gerar os conteúdos dos conjuntos de dados de acordo com os requisitos publicados nos esquemas XML disponibilizados. Existem sobretudo duas possibilidades de o fazer:

1. através de aplicações *desktop*, que estruturam e transformam os dados de acordo com os esquemas XML disponibilizados, sendo estes posteriormente validados em processos de controlo de qualidade;
2. através da publicação de serviços de dados (*web services*), que expõem esses mesmos conteúdos a partir de um servidor web.

No caso da opção por aplicações *desktop*, há a salientar que a aplicação *WISE Desktop Tool*, disponibilizada para relato da informação relativa ao artigo 5º da DQA veio a revelar-se complexa, na medida em que os seus utilizadores necessitavam de conhecer profundamente a sua filosofia, e o seu carregamento era demorado e pouco intuitivo. Salienta-se ainda o facto de, a informação que é reportada através desta aplicação ser apenas informação alfanumérica, pelo que, com esta metodologia, este tipo de informação ficou dissociado da informação geográfica com a qual se relaciona. Independentemente da forma de partilha da informação é sempre desejável que os conjuntos de dados estejam conceptualizados de forma a cumprir dois objectivos principais:

1. as funções de gestão das autoridades competentes no que respeita ao planeamento e gestão dos recursos hídricos (nos quais se incluem as tarefas de licenciamento e fiscalização da sua utilização);
2. as necessidades de relato da condição desses recursos com base em modelos de dados flexíveis, modulares e tendencialmente universais.

Neste sentido, seria útil que a informação necessária ao relato da condição dos recursos hídricos pudesse ser gerada a partir dos sistemas de informação institucionais das autoridades competentes onde estivessem publicados serviços de informação geográfica, de acordo com a especificação WMS<sup>37</sup> ou WFS<sup>38</sup>, contribuindo assim para a interoperabilidade preconizada pela directiva INSPIRE. O exemplo da transformação combinada dos modelos de dados e sistemas de referência geográfica do cadastro holandês para temas específicos da INSPIRE é apresentado em Hemmatnia *et al.* (2010).

Uma das condições essenciais para que tal seja possível implica a adopção de modelos de dados em conformidade com as necessidades de relato preconizadas pela DQA, bem como por outras obrigações legais que se relacionam com esta, como a directiva das águas subterrâneas, a directiva habitats, ou ainda a directiva das águas residuais urbanas. Há, no entanto, que ter a consciência de que não é desejável, nem sequer sensato, tentar conceber um modelo de dados com o objectivo de cumprir todas as necessidades de identificação, análise e relato possíveis.

Diversos países desenvolveram ao longo dos anos, alguns deles antes da aprovação da DQA e outros motivados por esta, especificações de dados geográficos sobre recursos hídricos. No caso

---

<sup>37</sup> *OpenGIS Web Map Service (WMS). Implementation Specification*

<sup>38</sup> *OpenGIS Web Feature Service (WFS). Implementation Specification*

da Suécia, o Instituto de *Standards* Sueco publicou a especificação de informação geográfica sobre massas de água superficiais (*Swedish Standards Institute*, 2006). O caso espanhol envolveu diversas entidades no projecto SDIGER (Latre *et al.*, 2005), sobre a implementação da directiva INSPIRE, aplicado à modelação de informação geográfica e à publicação de serviços de dados geográficos sobre recursos hídricos. Neste projecto, fez-se a comparação do modelo de dados geográficos francês com o modelo de dados espanhol, ambos com o objectivo de suportar a implementação da DQA (Vautier, 2005). Exemplos da aplicação dos elementos de informação geográfica da DQA em países europeus estão descritos em Moroglu e Yazgan (2008), para o caso da Turquia; em Hammer *et al.* (2011), para o caso da Suécia.

## 2.6 Especificações de informação geográfica em Portugal

As especificações de informação geográfica existentes em Portugal caracterizam-se por cumprirem sobretudo objectivos de representação cartográfica, é o caso da série cartográfica nacional 1:10.000 (SCN 10k), produzida pelo Instituto Geográfico Português, e o caso da série cartográfica M888 (carta militar) à escala 1:25.000, produzida pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE). As especificações da estrutura de dados da SCN10K constam do catálogo de objectos no âmbito do qual são desenvolvidos: o modelo numérico topográfico (MNT), o modelo numérico cartográfico (MNC) e o modelo numérico altimétrico (MNA). Esta série cartográfica apresenta, no catálogo de objectos, um domínio específico para hidrografia com 42 elementos representáveis (IGP, 2008). Estas normas técnicas de produção e reprodução da SCN 10K, referem-se ao domínio da hidrografia no seu artigo 25º, referindo que:

- os elementos topográficos que constituem a hidrografia tridimensional obedecem aos requisitos de precisão altimétrica definidos para as curvas de nível;
- as intersecções das curvas de nível com as linhas de água são materializadas, quer no MNT quer no MNC, na inflexão das curvas de nível com um ponto comum a ambas, quer na representação tridimensional quer na representação bidimensional.

Estas normas incluem no seu anexo E, referente à simbologia, os critérios de apresentação dos tipos de entidades geográficas relativas ao domínio da Hidrografia. Na Figura 1, apresenta-se a simbologia sobre as massas de água rios.

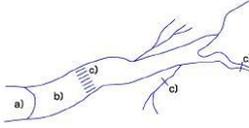
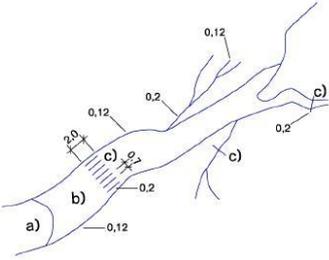
Designação	Desenho à escala	Unidades em milímetros
<p>Linhas de água:</p> <p>a) Cursos de água navegáveis</p> <p>b) Cursos de água não navegáveis</p> <p>c) Quedas de água</p>		

Figura 1. Representação das massas de água rios (de acordo com as normas técnicas de produção e reprodução da SCN 10K)

Também a série cartográfica M888 prevê a representação de elementos de hidrografia (Freitas, 2008). O trabalho de Caeiro (2008) aborda a portabilidade entre catálogos de objectos propostos para a informação geográfica em Portugal. Estes catálogos de objectos não contemplam conceitos fundamentais associados ao planeamento e gestão de recursos hídricos, como o de bacia hidrográfica, rede hidrográfica, estação de monitorização, ou massa de água, pelo que a sua transformação para obedecer ao MDG desenvolvido neste trabalho é possível embora restrito a alguns elementos. Este facto não representa em si um defeito, mas antes uma característica própria dos produtos cartográficos que cada um dos catálogos suporta. De salientar ainda que apenas objectos físicos passíveis de serem representados cartograficamente à escala de representação indicada constam do catálogo de objectos. A descrição dos objectos geográficos através do seu conjunto de atributos não é considerada nos catálogos de objectos citados, nem, estabelecidas associações entre as classes de objectos referenciadas, pelo que nem sequer se colocam questões de integridade relacional ou consistência semântica dos dados utilizados nos respectivos produtos cartográficos. Silva e Antequera (2000) estudaram, por comparação, os catálogos de objectos da SCN10K e da informação geográfica do SIG da Junta da Extremadura (SIGCAT).

O Ex-Grupo de Ordenamento do Território do CNIG, entretanto integrado no IGP (actual DGT), publicou em 2002, a versão preliminar de um trabalho referente à estruturação de informação geográfica digital para Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) (Santos *et al.*, 2002), no qual foi proposto um catálogo de objectos para esta categoria de instrumentos de planeamento. É parte integrante deste trabalho uma primeira abordagem ao catálogo de objectos proposto para estas especificações. Este catálogo está parcialmente ilustrado na Figura 2.

GRUPO	SUB-GRUPO	SERVIDÃO OU RESTRIÇÃO	CATÁLOGO DE ENTIDADES			
			ESC. 1:25000		ESC. 1:10000	
			DESIGNAÇÃO	CÓDIGO	DESIGNAÇÃO	CÓDIGO
1. PATRIMÓNIO NATURAL	1.1 Recursos Hídricos	Domínio Público Hídrico				
		Domínio Marítimo	LinhaCosta	Azul, nível 53	Hydrografia	12
					Margens consolidadas, Linha de costa	120003
					Rios	1201
		Domínio Fluvial	Rio/Rib1	Azul, nível 53		
			Rio/Rib2	Azul, nível 53	Curso de água navegável ou flutuável	12010001
			LinAqua1	Azul, nível 53	Curso de água não navegável nem flutuável	12010002
			LinAqua2	Azul, nível 54	Ribeiras	1204
			LinAqua3	Azul, nível 55	Linha de água	12040001
					Ribeira	12040002
		Domínio Lacustre	Lagoa	Azul, nível 51	Laços naturais	120601
					Navegável	12060101
					Não navegável	12060102
					Canais	1202
		Outros	ValeaNavegáv	Azul, nível 52	Canal navegável	12020001
			ValeEstreita	Azul, nível 52	Canal navegável	12020001
			ValeLarga	Azul, nível 52	Valas	1205
			Pântano	Azul, nível 51	Vala	12050001
			Nascente	Azul, nível 57	Pântanos	1209
			Mina(galeria) ???	Preto, nível 17	Pântanos	12090001
			Mina(poço)	Preto, nível 17	Nascentes em geral	120001
			MaeAguasol ???	Azul, nível 57	Nascente a céu aberto	12000101
			Chafariz	Azul, nível 57	Nascente numa construção	12000103
			Depósito de água	Azul, nível 57	Formas especiais	120004
			Depósito de água elevado	Azul, nível 57	Curso de água subterrâneo	12000401
			Furoartesian	Azul, nível 57	Ribeira	1204
			Poço	Azul, nível 57	Ribeira subterrânea	12040003
			PoçoEngenho ???	Azul, nível 57	Instalações destinadas ao abastecimento de água	060901
			Cisterna	Azul, nível 57	Chafariz, fontanário, bica	06090106
					Depósito de água em torre	06090103
					Depósito de água à superfície	06090104
					Depósito de água subterrâneo	06090105
					Estruturas de transporte e abastecimento	08
					Estruturas de abastecimento	0801
					Aproveitamento de águas	080101
					Poço	08010101
					Poço artesian	08010102
					Furo	08010103
					Furo artesian	08010104
					Nora ???	08010105
		Margens e Zonas Inundáveis	idem Domínio Público Hídrico		idem Domínio Público Hídrico	
		Albufeiras	Albufeira	Azul, nível 51	Hydrografia	1200
			Barragem	Preto, nível 11	Outras estruturas	120008
					Paredão de barragem	12000801
					Laços artificiais	120602
			Albufeira	12060201		

Figura 2. Extracto do catálogo de objectos preliminar proposto para os PMOT (Grupo de Ordenamento do Território, IGP)

A DGOTDU (actual DGT), em cumprimento ao nº 7 do artigo 6º do Decreto Regulamentar nº 10/2009, de 29 de Maio, elaborou o projecto de "Norma técnica sobre o modelo de dados para o plano director municipal" (DGOTDU, 2011) com o objectivo de assegurar um nível básico de uniformização da informação geográfica associada aos planos directores municipais, que permita a sua integração em sistemas de informação de âmbito regional e nacional e a sua utilização para finalidades de análise territorial a níveis de agregação supra-concelhos. Esta norma técnica baseia-se em grande medida no conceito de catálogo de objectos da cartografia homologada pela autoridade nacional de cartografia, nomeadamente a série cartográfica nacional à escala 1:10.000.

Refira-se ainda o Sistema Nacional de Exploração e Gestão de Informação Cadastral (SiNERGIC), criado com o objectivo de viabilizar a existência de cadastro predial em Portugal, enquanto conjunto de dados exaustivo, metódico e actualizado, caracterizador e identificador das propriedades existentes no território nacional, constituindo-se como uma ferramenta indispensável para as políticas de ordenamento do território, ambiente, económicas (em particular a agrícola e a florestal), fiscal e de obras públicas (IGP, 2009). As especificações técnicas deste Sistema apresentam um modelo de dados e o respectivo catálogo de entidades, além de outros elementos como: perfil de metadados, processos de aquisição de informação, formatos de dados, sistemas de referência e produção cartográfica.



## 3 MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS

### 3.1 Enquadramento

No processo de modelação de dados geográficos são utilizadas técnicas de notação que ajudam a compreender os termos e a caracterizar os conceitos subjacentes à interpretação do sistema real e a organizá-los de acordo com as associações que estabelecem entre si. Por natureza, um modelo de dados geográficos é independente do sistema computacional que o implementa.

A metodologia aplicada baseia-se num processo de modelação de dados dividido em quatro fases, durante as quais são utilizadas normas da *International Organization for Standardization* (ISO) e INSPIRE<sup>39</sup>, bem como a linguagem esquemática UML (*Unified Modeling Language*) e a linguagem de marcação extensível (XML). Estas quatro fases compreendem a definição do universo de discurso, o desenvolvimento do modelo conceptual, a definição do modelo lógico (esquema de aplicação - *application schema*) e a implementação do modelo físico de dados.

O modelo conceptual e o respectivo modelo lógico consideram os diplomas legais europeus e nacionais aplicáveis ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais, bem como os documentos-guia para a implementação dos elementos geográficos da DQA, o sistema de informação sobre recursos hídricos europeu (WISE), os documentos de enquadramento das especificações dos temas da infra-estrutura de informação geográfica europeia (INSPIRE) e ainda normas ISO 19100, relativas à informação geográfica/geomática. Os critérios que resultaram da adopção destes elementos estão descritos ao longo deste capítulo

Os modelos de dados utilizados para descrever o universo do discurso, o modelo conceptual, e o modelo lógico de dados, recorrem ao paradigma da modelação centrada em objectos (Booch *et al.*, 2007). Nesse paradigma os objectos são agrupados em classes entre as quais se estabelecem associações, sendo essas classes caracterizadas por propriedades específicas (atributos). Com este processo são interpretados, definidos, e descritos os conceitos subjacentes ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais.

### 3.2 Análise da legislação europeia e nacional aplicável

O novo enquadramento legal e institucional em que se elaboram e implementam as novas figuras do planeamento de recursos hídricos, nomeadamente os planos de gestão de região hidrográfica (PGRH), cujo conteúdo é estabelecido pela portaria 1284/2009 de 19 de Outubro, implica uma adequada estruturação de informação geográfica que possibilite: o suporte aos produtos das

---

<sup>39</sup> Documentos técnicos INSPIRE sobre a especificação de informação geográfica

tarefas de planeamento, a produção cartográfica associada, o apoio ao relato de elementos ao WISE e a análise espacial e modelação hidrológica e hidráulica.

Com o objectivo de assegurar a transposição dos elementos referidos nos diplomas normativos aplicáveis, foi efectuada uma análise das exigências destes diplomas no que respeita aos conceitos e requisitos passíveis de serem representados no MDG a desenvolver. Refira-se que para os aspectos em que não é explícita a forma de representação dos conceitos procurou-se adoptar critérios que cumprissem os requisitos de base propostos e que fossem o mais unanimemente aceites pela comunidade científica.

Importa referir que os conteúdos gerais dos PGBH se encontram também definidos no Anexo VII da DQA, no Artigo 29.º da Lei da Água e no Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março, cuja articulação permite verificar que estes planos deverão incluir dados de caracterização com um grau de análise espacial e temporal adequado de forma a sustentar e fundamentar a especificação dos objectivos ambientais preconizados na DQA e na Lei da Água e para definir as medidas necessárias para a sua concretização. Refira-se ainda que a Constituição Portuguesa menciona as obrigações do Estado em matéria de água, dedicando-lhe os artigos 9º, alínea c) art.º 52º, nº 1 e 3, art.º 60º, art.º 66º, art.º 81º, alínea a) e m), art.º 84º, art.º 90º, art.º 91º, art.º 165º nº 1, alínea g) e art.º 268º.

### **3.2.1 Análise do enquadramento legal europeu (directivas europeias)**

No contexto da implementação da DQA destacam-se as seguintes directivas europeias que se relacionam com a DQA:

- directiva do tratamento das águas residuais urbanas (91/271/CEE);
- directiva das águas balneares (2006/7/CE);
- directiva dos nitratos, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola (91/676/CEE);
- directiva da água para consumo humano, relativa à qualidade da água superficial para produção de água potável (75/440/CEE);
- directiva da vida piscícola, relativa à qualidade das águas doces designadas como necessitando de ser protegidas ou melhoradas a fim de estarem aptas para a vida dos peixes (78/659/CEE);
- directiva das substâncias perigosas, relativa à poluição causada por substâncias perigosas lançadas em meio hídrico (76/464/CEE);
- directiva n.º 80/778/CEE, alterada pela Directiva n.º 98/83/CE, relativa às águas destinadas ao consumo humano;

- directiva n.º 86/278/CEE, relativa às lamas de depuração;
- directiva da avaliação e gestão do risco de inundação (DAGRI, 2007/60CE);
- directiva da estratégia marinha (2008/56/CE);
- directiva das emissões industriais, aprovada pelo Parlamento Europeu a 7 de Julho de 2010, que revoga sete outras directivas, nomeadamente a directiva sobre a prevenção e controlo integrado de poluição (Directiva 2008/1/CE);
- directiva n.º 96/61/CE, relativa à prevenção e ao controlo integrado da poluição (PCIP);
- directiva n.º 79/409/CEE, relativa à conservação das aves selvagens;
- directiva n.º 92/43/CEE, relativa aos habitats;
- directiva n.º 96/82/CE, relativa aos riscos de acidentes graves (Seveso);
- directiva n.º 85/337/CEE, relativa à avaliação dos efeitos de determinados projectos públicos e privados no ambiente;
- directiva n.º 91/414/CEE, relativa aos produtos fitofarmacêuticos.

No âmbito do disposto na DQA, o incumprimento das normas de qualidade estabelecidas no âmbito de outras directivas comunitárias em vigor, nomeadamente as directivas 75/440/CEE, 76/160/CEE, 78/659/CEE e 76/464/CEE, conduz à classificação das massas de água como estando em risco de cumprir os objectivos ambientais definidos. A directiva 75/440/CEE do Conselho, de 16 de Junho, relativa à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, a directiva 78/659/CE do Conselho, de 18 de Julho, relativa à qualidade das águas doces superficiais para fins aquícolas – águas piscícolas, a directiva 79/923/CE do Conselho, de 30 de Outubro, relativa à qualidade das águas do litoral e salobras para fins aquícolas – águas conquícolas, e a directiva 76/160/CEE do Conselho, de 8 de Dezembro, relativa à qualidade das águas balneares, foram transpostas para o direito nacional através do Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto, que revogou o Decreto-Lei 74/90, de 7 de Março, estabelecendo normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

No âmbito da directiva 98/83/CE, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano e transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, deverão ser inventariados os sistemas de abastecimentos que abastecem mais de 50 habitantes ou produzem mais de 10 m<sup>3</sup>/dia em média, limites estes também referidos no artigo 7º da DQA.

A directiva 91/676/CEE do Conselho, de 12 de Dezembro, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99, de 11 Março. Para

acompanhar a execução do disposto no Decreto-Lei 235/97, de 3 Setembro, foi criada uma Comissão de Acompanhamento através do Despacho Conjunto nº 300/99, II Série, de 10 de Abril. A Portaria n.º 258/2003, de 19 de Março, aprova a lista e as cartas que identificam as zonas vulneráveis de Portugal Continental. A Portaria n.º 1100/2004, de 3 de Setembro revoga a Portaria n.º 258/2003, de 19 de Março, redefinindo novas zonas.

A recentemente aprovada directiva sobre emissões industriais reformula a directiva 2008/1/CE sobre prevenção e controlo integrados de poluição (PCIP) [anterior 96/61/EC], a directiva 1999/13/CE sobre emissões de solventes (SE), a directiva 2000/76/CE sobre incineração de resíduos (WI), a directiva 2001/80/CE relativa às grandes instalações de combustão (LCP), as directivas 78/179/CEE, 82/883/CEE e 92/112/CEE relativa à indústria do dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>). Esta nova directiva fixa valores-limite de emissão de óxidos de azoto, dióxido de enxofre e de poeiras. As instalações industriais têm até 2016 para se preparar para as novas regras, ano a partir do qual será obrigatório cumprir os valores-limite de emissão.

### **3.2.2 Análise do enquadramento legal nacional**

A Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, também designada por Lei da Água (LA), transpõe para a ordem jurídica nacional a directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, estabelecendo assim as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável da água, tendo a bacia hidrográfica como base territorial. Procurou-se no desenvolvimento do MDG considerar todos os objectos do mundo real identificáveis nos diplomas legais aplicáveis. Para o processo de modelação de dados foram considerados os seguintes diplomas legais:

- Lei n.º 58/2005, 29 de Dezembro (Lei da Água - LA);
- Lei n.º 54/2005, 15 de Novembro (titularidade dos recursos hídricos);
- Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março (regulamentação da LA);
- Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio (regime de utilização dos recursos hídricos);
- Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de Junho (taxa de recursos hídricos e tarifas dos serviços públicos de águas);
- Portaria n.º 394/2008, de 5 de Junho (Estatutos das ARH);
- Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro (regulamentação do Decreto -Lei n.º 226 - A/2007, de 31 de Maio);
- Decreto-Lei n.º 131/2005, 16 de Agosto (regime excepcional e transitório de atribuição de licença para a pesquisa e captação de águas subterrâneas e para a instalação de novas captações de águas superficiais destinadas ao abastecimento público);
- Decreto-Lei n.º 236/1998, 1 de Agosto;

- Decreto-Lei n.º 348/1998, de 9 de Novembro (tratamento de águas residuais urbanas);
- Decreto-Lei n.º 129/2008, de 21 de Julho (planos de ordenamento dos estuários);
- Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de Outubro (tratamento de águas residuais urbanas);
- Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro (modelo organizacional das ARH);
- Portaria n.º 702/2009, de 6 de Julho (termos da delimitação dos perímetros de protecção das captações destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano, bem como os respectivos condicionamentos);
- Portaria 1284/2009, de 19 de Outubro (conteúdo dos planos de gestão de bacia hidrográfica, previstos na Lei da Água).
- Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de Setembro (transpõe a directiva n.º 2008/105/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água e parcialmente a directiva n.º 2009/90/CE, da Comissão, de 31 de Julho).

### 3.3 Normas e especificações internacionais aplicáveis

Existem dois principais organismos que se dedicam a nível mundial, frequentemente de forma colaborativa, ao desenvolvimento de normas aplicadas à informação geográfica: o *Open Geospatial Consortium* (OGC) e a *International Organization for Standardization* (ISO). Na Europa esse trabalho tem-se desenvolvido sob a iniciativa INSPIRE. Os seguintes documentos normativos contêm disposições que foram tidas em conta no desenvolvimento do MDG. Os documentos listados foram utilizados na versão referenciada, pelo que eventuais alterações posteriores não foram tidas em conta no âmbito do trabalho descrito. Foram considerados os seguintes documentos:

- GML, *Geography Markup Language implementation schema*, OGC 03-105r1, v3.1.1;
- ISO 1000:1994, *SI Units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*;
- ISO 8601:2004, *Data elements and interchange formats — Information interchange Representation of dates and times*;
- ISO 19101:2003, *Reference model*;
- ISO/TS 19103:2006, *Conceptual schema language*;
- ISO 19106, *Profiles*;
- ISO 19107 (EN ISO 19107:2005), *Spatial schema*;

- ISO 19108 (EN ISO 19108:2005), *Temporal schema*;
- ISO/TS 19109:2006, *Rules for Application schema*;
- ISO 19110:2006, *Feature cataloguing methodology*;
- ISO 19111 (EN ISO 19111:2007), *Spatial referencing by coordinates*;
- ISO 19112 (EN ISO 19112:2003), *Spatial referencing by geographic identifiers*
- ISO 19118, *Encoding*;
- ISO 19135 (EN ISO 19135:2005), *Procedures for item registration*;
- ISO 3166-1 2-char *Country code*;
- IETF RFC 2396, *Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax*;
- OGC 06-103r3 – *Implementation specification for geographic information – Simple feature access – Part 1: Common architecture v1.2.0*;
- OGC *Observations and Measurements. OpenGIS® Best Practice document*, OGC 05-087r4;
- W3C XML, *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition)*, *W3C Recommendation*;
- W3C XML Namespaces, *Namespaces in XML. W3C Recommendation*;
- W3C XML Schema Part 1, *XML Schema Part 1: Structures. W3C Recommendation*;
- W3C XML Schema Part 2, *XML Schema Part 2: Datatypes. W3C Recommendation*.

No MDG desenvolvido foram utilizados elementos com origem nas normas ISO referentes à informação geográfica (colecção 19100), bem como as disposições de execução para a especificação dos temas da directiva INSPIRE, nomeadamente as seguintes:

- *Definition of annex theme and scope (D 2.3, v3.0)*, INSPIRE (2008);
- *Generic conceptual model (D 2.5, v3.1)*, INSPIRE (2010a);
- *Methodology for the development of data specifications (D 2.6, v3.0)*, INSPIRE (2008a);
- *Guidelines for the encoding of spatial data (D 2.7, v3.0)*, INSPIRE (2009b).

Destaca-se das normas ISO a aplicação da norma 19109 (*Rules for Application Schema*) e 19131 (*Data product specifications*). O esquema de aplicação contém uma descrição formal da estrutura e do conteúdo dos dados, incluindo:

- representação dos tipos de entidades (*spatial data objects*, na denominação sugerida pelas disposições de execução da INSPIRE);

- atributos e os tipos de valores permitidos;
- restrições ao domínio de valores dos atributos declarados através de enumerações;
- relacionamentos entre classes de entidades do modelo de dados (associações);
- regras de consistência topológica.

### 3.3.1 Normas ISO

A Organização Internacional de Normalização (ISO) estabeleceu a partir de 1994 a comissão técnica 211 (informação geográfica e geomática) com o objectivo de desenvolver um conjunto estruturado de normas sobre informação respeitante a objectos ou fenómenos que estejam directa ou indirectamente relacionados com uma localização relativa à superfície terrestre (ISO, TC 211<sup>40</sup>).

A CT 211 tem como principal objectivo a produção de normas respeitantes à recolha, armazenamento, processamento, apresentação e distribuição de dados geográficos, sendo estas designadas genericamente por ISO 19100 (Matos, 2008). A ISO/CT 211 conta actualmente com 32 membros participantes e 30 membros observadores. Portugal é membro participante desde 1998. Esta comissão técnica tem actualmente 45 normas publicadas. As normas referentes à informação geográfica tomam actualmente a designação de normas ISO 19100. O trabalho de Kresse e Fadai (2004) descreve de forma exaustiva o grupo de normas ISO sobre informação geográfica.

A norma que estabelece a linguagem e os conceitos para definir um modelo conceptual de dados geográficos é a norma ISO 19103 (*Geographic Information – Conceptual Schema Language*). Esta é uma norma considerada de base, dado que estabelece regras para a construção das restantes normas. A norma ISO 19109 (*Geographic Information – Rules for Application Schema*) baseia-se na anterior e contém orientações para o desenvolvimento de esquemas de aplicação, baseados nos modelos conceptuais e respectivo dicionário de dados. Salienta-se que as especificações dos temas INSPIRE seguem a estrutura da norma ISO 19131, representada na Figura 3.

---

<sup>40</sup> [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=54904](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54904)

INTERNATIONAL STANDARD		ISO 19131	Geographic information — Data product specifications
			<i>Information géographique — Spécifications de contenu informationnel</i>
6	General structure and content of a data product specification .....	6	
7	Overview .....	7	
8	Specification scopes .....	8	
9	Data product identification .....	8	
10	Data content and structure .....	9	
10.1	Feature-based data .....	9	
10.2	Coverage-based and imagery data .....	10	
11	Reference systems .....	10	
12	Data quality .....	11	
13	Data capture .....	11	
14	Data maintenance .....	11	
15	Portrayal .....	11	
16	Data product delivery .....	12	
17	Additional information .....	12	
18	Metadata .....	12	

Figura 3. Extracto da estrutura da norma ISO 19131 referente à especificação de informação geográfica

### 3.3.1.1 O formato GML para partilha de informação geográfica

A Comissão Europeia, no âmbito do WISE e da partilha de informação geográfica sobre política ambiental, refere o formato GML como o formato de partilha de dados a adoptar no futuro, nomeadamente nos serviços de dados (*webservices*) das autoridades competentes (Atkins, 2009a). Actualmente, não estão ainda estabelecidos formalmente estes serviços de dados geográficos, pelo que a informação geográfica continua a ser reportada através de ESRI *Shapefiles*. O desenho do MDG não influencia directamente o formato de dados GML a adoptar no futuro, no entanto considerou-se pertinente incluir as principais noções deste formato de dados.

A GML é uma linguagem expressa gramaticalmente em XML que pode ser usada para a modelação, partilha, e armazenamento de informação geográfica. Muitos dos conceitos utilizados na GML são inspirados na especificação do *Open Geospatial Consortium: Abstract Specification*, e na colecção de normas ISO da série 19100.

A norma ISO 19136:2007 trata especificamente da implementação da GML através da definição de esquemas XML (meta-documentos) para descrever diversas categorias de objectos, nomeadamente: entidades, sistemas de referência geográfica, geometrias, topologias, datas, unidades de medida, e valores. Apresenta cerca de 28 outras referências normativas como indispensáveis para a sua aplicação (ISO 19136). A GML apresenta as seguintes vantagens:

- fornece uma base não proprietária, aberta e bem documentada, para a descrição de informação geográfica em XML;
- suporta a descrição de entidades, atributos e relacionamentos, e outros elementos, que possibilitam modelar domínios de aplicação variados e distintos;
- permite o conhecimento sobre a estrutura de informação ao mesmo tempo que serve de veículo para o seu transporte;

- possibilita a definição de mais do que uma representação geográfica para cada entidade descrita, o que em termos de generalização cartográfica tem enormes vantagens;
- facilita a partilha de informação num formato interoperável sobretudo para a Web, e para serviços de dados distribuídos na Internet.

Os ficheiros GML são normalmente compostos por ficheiros únicos com a extensão GML. No entanto, alguns destes ficheiros podem usar a extensão XML. Os documentos GML deverão ser instâncias de um meta-documento (*XML Schema*) que definem como a informação geográfica se encontra descrita no documento que por este é validado. O objectivo do meta-documento é documentar o significado, a representação, os atributos e os relacionamentos dos dados que constituem o documento GML.

### 3.3.1.2 WaterML

Para o desenvolvimento do diagrama de classes UML das séries temporais do modelo lógico analisou-se a especificação *Water Markup Language* (WaterML) com o objectivo de adequar esse desenho à possibilidade de implementar serviços de dados em conformidade com esta especificação. A *WaterML* é o termo utilizado para designar um grupo de serviços de dados geográficos criados pelo consórcio de universidades para o desenvolvimento da ciência hidrológica (comunidade CUAHSI).

A especificação *WaterML* define uma estruturação de informação suportada pela NSF (fundação nacional para a ciência norte americana), tendo sido adoptada por diversas agências federais para a partilha de séries temporais de dados hidrológicos. Em Maio de 2007, a Universidade do Texas e o centro do super-computador de San Diego propuseram a *CUAHSI WaterML* como um documento de discussão do OGC (OGC 07-041r1, 2007), no qual propõem a harmonização com as especificações do OGC, em particular a especificação sobre observações e medida, também publicada como norma ISO (ISO/DIS 19156). A *WaterML 2.0* é uma especificação candidata para a codificação de dados de observações hidrológicas, sendo implementada como um esquema de aplicação da GML (versão 3.2.1).

Os serviços de dados definidos na *WaterML* têm como objectivo facilitar a extracção de observações hidrológicas a partir de diversas fontes de dados disponíveis via Internet, utilizando o protocolo SOAP. A especificação consiste sobretudo na proposta de esquemas XML que definem o formato das mensagens devolvidas pelos serviços de dados que a implementam, conhecidos como *WaterOneFlow web services*.

Um dos obstáculos ao consumo automático de dados sobre recursos hídricos, e sistemas complementares é a diversidade de formatos para publicar esse tipo de conjuntos de dados geográficos. Cada país, autoridade competente, ou grupo de investigação, utiliza normalmente a sua própria abordagem, o que dificulta a interrogação e exploração desses dados. O que a

WaterML propõe são generalizações em linguagem de marcação extensível (XML) que permitam partilhar e documentar este tipo específico de informação. A *WaterML* não é considerada actualmente uma norma OGC, no entanto revela-se como um esforço substancial, e válido, no que respeita à tentativa de harmonização da semântica de serviços de dados para partilha de dados de monitorização hidrológica.

### 3.3.2 Disposições de execução INSPIRE

A directiva INSPIRE (directiva 2007/2/EC do Parlamento Europeu e do Conselho), estabelece a criação da infra-estrutura europeia de informação geográfica, que pretende promover a disponibilização de informação de natureza espacial, utilizável na formulação, implementação e avaliação das políticas ambientais da União Europeia.

De forma a assegurar que as infra-estruturas de informação geográfica dos EM são compatíveis e utilizáveis pela comunidade num contexto transfronteiriço, têm vindo a ser desenvolvidas, no âmbito da implementação da INSPIRE, algumas disposições de execução, conhecidas como *Implementation Rules*, que deverão ser adoptadas para as seguintes áreas (INSPIRE<sup>41</sup>):

- metadados;
- interoperabilidade de dados e serviços;
- especificações de informação geográfica sobre os temas da directiva;
- serviços de rede;
- partilha de dados e utilização dos serviços disponibilizados;
- monitorização e relato.

Estas disposições de execução são adoptadas pela CE como decisões ou regulamentações e contêm a informação técnica para a implementação das diversas componentes da infra-estrutura de informação geográfica dos EM. As disposições de execução têm vindo a ser elaboradas, nas áreas acima referidas, pelas equipas de trabalho (*drafting teams*), cuja função é analisar e rever as especificações técnicas propostas. Além da produção das disposições de execução, estas equipas produzem também recomendações para as equipas de consolidação (*consolidation teams*).

---

<sup>41</sup> <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/47>

### 3.3.2.1 Documentos relacionados com as especificações dos temas da INSPIRE

As disposições de execução INSPIRE são definidas com base em documentos conceptuais e de enquadramento. Estes documentos visam sobretudo garantir a interoperabilidade entre as especificações de informação geográfica dos temas INSPIRE. O modelo conceptual genérico de suporte ao desenvolvimento da infra-estrutura de informação geográfica está expresso na Figura 4.

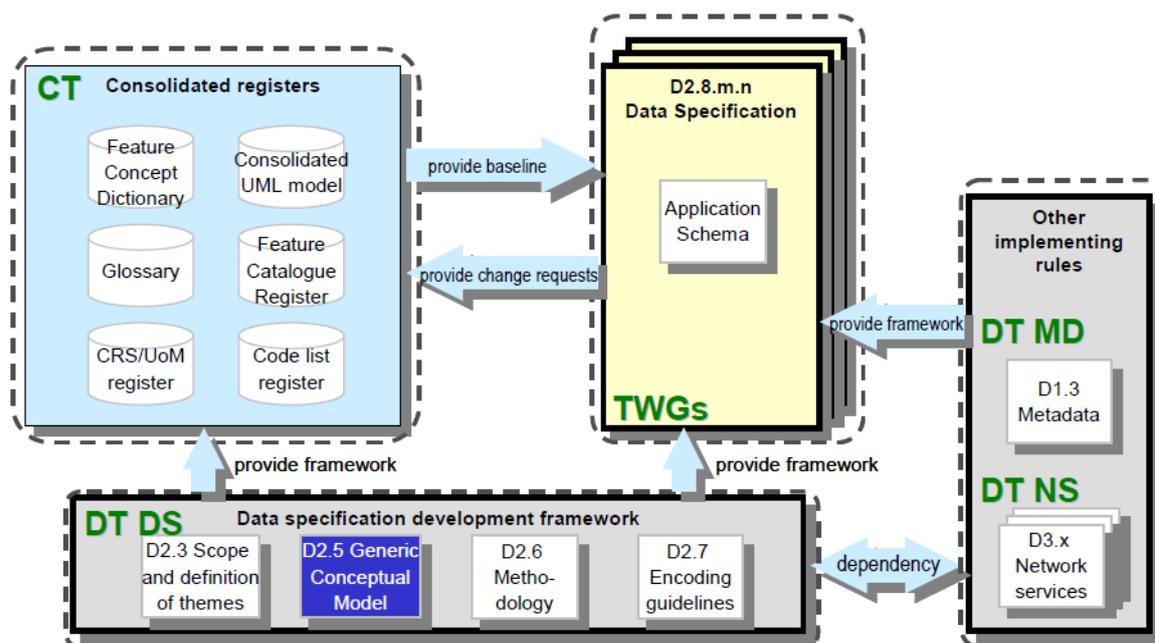


Figura 4. Modelo conceptual genérico da INSPIRE (INSPIRE, 2010a)

Dado que o desenvolvimento do MDG, tal como as especificações INSPIRE, se baseia em normas internacionalmente aceites, nomeadamente os critérios presentes na norma ISO 19101 relativa ao modelo de referência para a especificação de informação geográfica (ISO 19101, 2002), optou-se por analisar os documentos conceptuais e de enquadramento das especificações dos temas da INSPIRE. Dos documentos e recursos conceptuais com relevância para o modelo conceptual e lógico desenvolvidos nos trabalhos de tese destacam-se os seguintes:

- INSPIRE *Consolidated UML Model*<sup>42</sup>;
- INSPIRE *Code list dictionaries*<sup>43</sup>;
- INSPIRE *Feature concept dictionary*<sup>44</sup>;
- INSPIRE *Glossary*<sup>45</sup>;

<sup>42</sup> <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/241/documentid/1136>

<sup>43</sup> <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/241/documentid/1699>

<sup>44</sup> <http://inspire-registry.jrc.ec.europa.eu/registers/FCD>

- GML *Application schemas*<sup>46</sup>;

### 3.3.2.2 Temas INSPIRE

A directiva INSPIRE incide sobre informação geográfica da responsabilidade das instituições públicas dos EM, referente a um conjunto de 34 temas distribuídos por três anexos que abrangem informação geográfica de natureza trans-sectorial e outros específicos do sector ambiental, no qual se inclui o tema hidrografia, (pertencente ao anexo I da directiva). Os temas da directiva INSPIRE são os que constam do Quadro 1 (INSPIRE D2.3, 2008a).

Quadro 1. Temas dos anexos I, II, e III da directiva INSPIRE

Anexo I	Anexo III
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistemas de referência geográfica (<i>Coordinate reference systems</i>)</li> <li>2. Sistemas de quadrículas geográficas (<i>Geographical grid systems</i>)</li> <li>3. Toponímia (<i>Geographical names</i>)</li> <li>4. Unidades administrativas (<i>Administrative units</i>)</li> <li>5. Endereços (<i>Addresses</i>)</li> <li>6. Parcelas cadastrais (<i>Cadastral parcels</i>)</li> <li>7. Redes de transporte (<i>Transport networks</i>)</li> <li>8. Hidrografia (<i>Hydrography</i>)</li> <li>9. Sítios protegidos (<i>Protected sites</i>)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unidades estatísticas (<i>Statistical units</i>)</li> <li>2. Edifícios (<i>Buildings</i>)</li> <li>3. Solo (<i>Soil</i>)</li> <li>4. Uso do solo (<i>Land use</i>)</li> <li>5. Saúde humana e segurança (<i>Human health and safety</i>)</li> <li>6. Serviços de utilidade pública e do Estado (<i>Utility and Government services</i>)</li> <li>7. Instalações de monitorização do ambiente (<i>Environmental monitoring facilities</i>)</li> <li>8. Instalações industriais e de produção (<i>Production and industrial facilities</i>)</li> <li>9. Instalações agrícolas e aquícolas (<i>Agricultural and aquaculture facilities</i>)</li> <li>10. Distribuição da população - demografia (<i>Population distribution – demography</i>)</li> <li>11. Zonas de gestão/restricção/regulamentação e unidades de referência (<i>Area management/restriction/regulation zones and reporting units</i>)</li> <li>12. Zonas de risco natural (<i>Natural risk zones</i>)</li> <li>13. Condições atmosféricas (<i>Atmospheric conditions</i>)</li> <li>14. Características geo-meteorológicas (<i>Meteorological geographical features</i>)</li> <li>15. Características oceanográficas (<i>Oceanographic geographical features</i>)</li> <li>16. Regiões marinhas (<i>Sea regions</i>)</li> <li>17. Regiões biogeográficas (<i>Bio-geographical regions</i>)</li> <li>18. Habitats e biótopos (<i>Habitats and biotopes</i>)</li> <li>19. Distribuição das espécies (<i>Species distribution</i>)</li> <li>20. Recursos energéticos (<i>Energy resources</i>)</li> <li>21. Recursos minerais (<i>Mineral resources</i>)</li> </ol>
<p><b>Anexo II</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Altitude (<i>Elevation</i>)</li> <li>2. Ocupação do solo (<i>Land cover</i>)</li> <li>3. Ortoimagens (<i>Orthoimagery</i>)</li> <li>4. Geologia (<i>Geology</i>)</li> </ol>	

<sup>45</sup> <http://inspire-registry.jrc.ec.europa.eu/registers/GLOSSARY>

<sup>46</sup> <http://www.ogcnetwork.net/node/210>

Salienta-se que os temas 1 e 2 do anexo I não são representados por entidades geográficas. Estes temas fornecem os conceitos de base para a representação das entidades geográficas dos restantes temas, permitindo a referenciação geográfica das entidades físicas.

Os grupos de trabalho temáticos (*thematic working groups*) estão encarregues de especificar a informação geográfica dos temas da directiva. O trabalho destes grupos baseia-se no Registo INSPIRE (*INSPIRE Registry*<sup>47</sup>), composto por um glossário de termos e por um catálogo de entidades para o suporte ao desenvolvimento das especificações de informação geográfica. Os diagramas UML em que se baseiam as especificações de dados geográficos dos diversos temas da INSPIRE estão disponíveis online<sup>48</sup>.

Importa ainda referir que o dicionário de dados e o respectivo catálogo de entidades, que suportam as especificações dos temas dos anexos I, II, e III da INSPIRE, são próprios dessas especificações e, por conseguinte, podem não se aplicar directamente às especificações de informação que se desenvolvam no âmbito de aplicações específicas, ou de interpretações de sistemas reais que se pretendam representar por intermédio de informação geográfica. O trabalho de dissertação desenvolvido é um dos casos em que os conceitos modelados no tema Hidrografia da iniciativa INSPIRE, foram considerados desajustados para caracterizar o universo de discurso declarado (*vide* secção 3.5.1). A descrição do modelo conceptual presente na norma ISO 19101 é idêntica à adoptada na declaração dos temas da INSPIRE.

O Decreto-Lei 180/2009 de 7 de Agosto, que transpõe para a ordem jurídica interna a directiva INSPIRE e fixa as normas gerais para a constituição de infra-estruturas de informação geográfica em Portugal, impõe às autoridades com responsabilidade na produção e disponibilização de informação geográfica que mantenham actualizados e disponíveis (art. 19.º) os conjuntos e serviços de dados que gerem. O âmbito de aplicação do diploma estende-se naturalmente aos anexos I, II e III da directiva INSPIRE, e por conseguinte aos temas que o MDG abrange conceptualmente, nomeadamente:

- “serviços de utilidade pública e do estado”;
- “instalações de monitorização do ambiente”;
- “zonas de gestão/restricção/regulamentação e unidades de referência” ;
- “zonas de risco natural”;
- “habitats e biótopos”.

O esboço das especificações dos temas II e III da INSPIRE estão disponíveis, para participação pública, publicamente desde Junho de 2011, sendo possível às organizações registadas como

---

<sup>47</sup> <https://inspire-registry.jrc.ec.europa.eu>

<sup>48</sup> <http://inspire-twg.jrc.ec.europa.eu/inspire-model>

legalmente mandatadas (LMO<sup>49</sup>) e às comunidades de interesse em informação geográfica (SDIC<sup>50</sup>) emitir pareceres sobre os documentos disponibilizados.

### 3.3.2.3 A especificação de informação geográfica do tema hidrografia

A definição geral do conteúdo da especificação INSPIRE - Hidrografia é a seguinte: “*Hydrography in the context of this data specification is involved with the description of the sea, lakes, rivers and other waters, with their phenomena*”. A especificação é limitada geograficamente aos limites de aplicação da DQA: “*surface water on the landward side of a line, every point of which is at a distance of one nautical mile on the seaward side from the nearest point of the baseline from which the breadth of territorial waters is measured, extending where appropriate up to the outer limit of transitional waters*”.

Refere-se assim aos “*Elementos hidrográficos, incluindo zonas marinhas e todas as outras massas de água e elementos com eles relacionados, incluindo bacias e sub-bacias hidrográficas. Quando adequado, de acordo com as definições da directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água, e sob a forma de redes.*” (directiva INSPIRE).

Excluem-se assim desta especificação INSPIRE as massas de água subterrâneas que são consideradas no âmbito do tema “geologia” (tema 4, anexo II). De notar ainda que as águas costeiras referenciadas na especificação dizem apenas respeito às águas costeiras tal como definidas na DQA. As restantes águas marítimas estão incluídas no tema “regiões oceânicas”. A nível temático não inclui a estruturação de informação para:

- navegação ou navegabilidade, dado serem aspectos referenciados no anexo I, no tema “redes de transportes”;
- para “altitude”, dado ser um tema abordado no anexo II;
- para as águas subterrâneas, dado serem abordadas no tema 4 do anexo II (geologia). Exclui-se deste último os cursos de água com escoamento subterrâneo, dado serem essenciais para a construção de uma rede hidrográfica coerente.

A especificação INSPIRE - Hidrografia recorre a diagramas de classes UML para descrever os três casos de uso esquematizados na Figura 5, aos quais estão afectos os esquemas de aplicação: *physical waters*, *network model*, e *management and reporting units*. A versão 3.0 do documento deu origem à primeira versão definitiva da especificação, sendo posteriormente actualizada para a versão 3.0.1 (INSPIRE D.2.I.8, 2010).

---

<sup>49</sup> *Legally Mandated Organisations*

<sup>50</sup> *Spatial Data Interest Community*

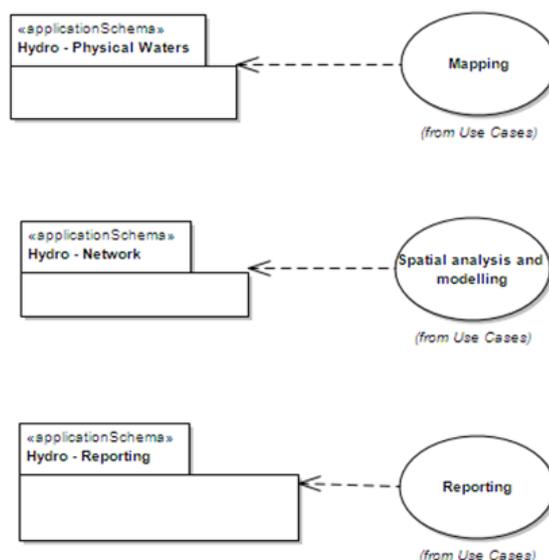


Figura 5. Casos de uso da especificação INSPIRE - Hidrografia (INSPIRE, 2010).

O tema hidrografia da INSPIRE foi definido para representar a rede de massas de água, estruturas construídas e diversos objectos relacionados. Efectivamente, as entidades naturais, construídas ou relacionadas com as águas, são divididas por diversos temas da directiva INSPIRE, o que de certa forma dificulta uma perspectiva única sobre os objectos a representar: naturais, construídos, e administrativos relacionados com a gestão pública das águas. No entanto, por outro lado, devem ser reconhecidas nesta abordagem algumas vantagens, relativas sobretudo aos aspectos de organização da informação.

O grupo de trabalho temático para o desenvolvimento da especificação do tema hidrografia é constituído por cerca de 9 membros. Por opção do grupo de trabalho foi decidido incluir, para fins de relato, a descrição da geometria das quatro categorias de massas de água superficiais da DQA: rios, lagos, transição e costeiras. As obrigações de relato dos EM em matéria de recursos hídricos são consideradas no anexo III da directiva INSPIRE (“zonas de gestão/restricção/regulamentação e unidades de referência”), o que evidencia a forte relação entre os tipos de objectos geográficos dos temas da INSPIRE.

De forma a relacionar os tipos de entidades geográficas da especificação INSPIRE – Hidrografia, com outras entidades que com estas se relacionassem, mas que por lógica conceptual estão declaradas em temas distintos, foi utilizada a noção de “placeholder”. Tipos de entidades como nascentes, glaciares, aquíferos, ou zonas inundáveis, assumem, nesta especificação, o estereótipo “placeholder”, por serem descritos noutra tema que não este.

É de salientar ainda que, no âmbito desta especificação, apenas é definida a geometria das categorias de massa de água da DQA. Não é feita qualquer classificação ou tipificação dessas massas de água, apesar de a DQA o exigir às autoridades competentes. Não são portanto definidos quaisquer atributos referentes a este tipo de entidades geográficas, sendo ainda de

destacar a ausência de grande parte dos conceitos do WISE, como sejam a avaliação do estado das massas de água, zonas protegidas com dependência do meio hídrico, programas de medidas, ou programas de monitorização.

É de salientar ainda que existem certas entidades na especificação de dados INSPIRE – Hidrografia que não possuem aplicação à realidade portuguesa, de que são exemplo os locais de neves permanentes. Também a entidade “rápidos” carece de uma caracterização hidráulica mais precisa de forma a identificar, sem ambiguidade, onde se poderiam localizar.

Apesar da especificação ser declaradamente de alto nível, o que é descrito como infra-estruturas hidráulicas fica bastante aquém do que em Portugal tem sido considerado para este tipo de infra-estruturas, nomeadamente no âmbito da primeira geração dos planos de bacia hidrográfica, para os quais se elaborou um levantamento exaustivo de todos os tipos de infra-estruturas hidráulicas. O registo destes dados deu origem a num sistema de informação desenvolvido no LNEC, conhecido como CADINFES (Santos e Viseu, 1998). Esta informação encontra-se actualmente integrada no sistema INSAAR<sup>51</sup>.

A especificação INSPIRE – Hidrografia cobre elementos hidrográficos nos quais estão incluídas as massas de águas superficiais e as áreas marítimas abrangidas pela delimitação das regiões hidrográficas. No entanto existem diversos elementos de interesse para o desenvolvimento do MDG objecto desta dissertação, que se encontram dispersos pelos diversos temas incluídos na directiva INSPIRE, nomeadamente no anexo I:

- toponímia, que inclui os nomes dos elementos hidrográficos;
- unidades administrativas, onde estão incluídas as fronteiras administrativas que são definidas por elementos hidrográficos, como as regiões hidrográficas e as bacias hidrográficas;
- redes de transporte, onde estão incluídas as águas navegáveis.

No anexo II:

- altitude, onde está incluída a informação referente à elevação terrestre, à batimetria e à linha costeira;
- ocupação do solo, onde estão incluídas as zonas húmidas, como os sapais e a representação de outras massas de água;
- geologia, que inclui aspectos de geomorfologia e hidrogeologia, nomeadamente as massas de água subterrânea.

---

51 Inventário nacional de sistemas de abastecimento de água e águas residuais (<http://insaar.inag.pt>)

No anexo III:

- serviços de utilidade pública e do estado, que inclui as redes de esgotos e respectivos locais de descarga e o abastecimento de água;
- instalações de monitorização do ambiente, onde se incluem as redes de monitorização de recursos hídricos (climatológicas, quantidade, qualidade e sedimentológicas);
- instalações industriais e de produção, onde se incluem as instalações de captação de água;
- instalações agrícolas e aquícolas, onde se incluem os sistemas de irrigação e as infra-estruturas de produção aquícolas;
- zonas de gestão/restricção/regulamentação e unidades de referência, onde estão caracterizadas as regiões hidrográficas e as sub-unidades de gestão hidrográfica, bem como zonas de protecção a nascentes de água potável ou outros locais de captação, zonas sensíveis à poluição por nitratos, vias navegáveis regulamentadas no mar ou em águas interiores de grandes dimensões, e áreas abrangidas pela gestão das zonas costeiras;
- zonas de risco natural, incluem-se os elementos referentes à caracterização das zonas sujeitas ao risco de inundação;
- características oceanográficas, que agrupa a informação referente à caracterização física das massas de águas oceânicas, nomeadamente correntes, salinidade e altura das ondas);
- regiões marinhas, onde se agrupam os elementos que definem a delimitação entre mar e terra.

Cerca de cinquenta organizações<sup>52</sup> legalmente mandatadas (LMO), correspondentes a vinte países, declararam coordenar aspectos sobre o tema hidrografia no âmbito da implementação da directiva INSPIRE. Com a publicação da INSPIRE - Hidrografia e com o sistema WISE a funcionar em pleno desde 22 de Março de 2007, houve necessariamente que debater questões de integração e interoperabilidade de conteúdos. Nos diversos debates havidos entre as instituições responsáveis pelo WISE e o grupo de trabalho temático sobre hidrografia, colocaram-se sobretudo duas hipóteses de integração: i) uma especificação integrada (WISE/INSPIRE); ou ii) uma especificação INSPIRE com uma extensão WISE. Esta última foi a mais consentânea entre os grupos de discussão, no entanto, o que se assiste até à publicação da versão 3.0.1 da INSPIRE - Hidrografia é que existe uma integração apenas pontual dos conceitos do WISE referentes à implementação e relato da DQA.

---

<sup>52</sup> <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/42/list/5/theme/6/role/coordinator/title/Hydrography>

O documento-guia que estabelece o enquadramento para a preparação e partilha de dados geográficos no âmbito da DQA (European Commission, 2009d) apresenta diferenças a vários níveis, quando comparado com a especificação da informação geográfica do tema hidrografia, elaborada na sequência da aprovação da directiva INSPIRE. Deve salientar-se que tanto o documento-guia dos elementos SIG, como a especificação de informação INSPIRE – Hidrografia, não contemplam diversos conceitos legalmente previstos em Portugal.

### **3.3.2.4 Ciclos de vida dos objectos geográficos e sistemas de referência temporal**

Pela importância que os ciclos de vida da informação geográfica assumem nos sistemas de informação torna-se importante que os produtores de informação geográfica possam dar acesso a diferentes versões de objectos geográficos indexando-os a um determinado ciclo de vida. Assim, será possível aos utilizadores disporem destes dados adequando melhor a sua aplicação.

Como sugerido nas secções 9.7 e 9.8.2 da INSPIRE *Generic conceptual model* – D2.5 (INSPIRE, 2010a), todos os objectos devem possuir um identificador único, quer sejam objectos caracterizados por uma geometria (como uma massa de água), quer sejam objectos sem geometria directa (como é o caso das séries temporais). Este identificador deve ser persistente com a definição do ciclo de vida da entidade geográfica, de forma a assegurar que os utilizadores percebam em que condições o identificador foi criado, modificado (em termos de associação com a entidade geográfica) e eliminado. O documento INSPIRE sugere a adopção de um conjunto de atributos datados que caracterizam o ciclo de vida do objecto e o sistema de versões. Esta informação ajudará o utilizador a fazer a distinção entre as diferentes versões do mesmo objecto.

No âmbito do desenvolvimento do MDG assume-se que diferentes versões do mesmo objecto geográfico serão instâncias do mesmo tipo de objecto geográfico (pertencentes à mesma classe). Consequentemente, o identificador nacional atribuído pelo fornecedor de dados, mantém-se inalterado; ou seja, nenhum outro objecto geográfico tem o mesmo identificador único. O espaço de nomes (*namespace*) que identifica de forma única a fonte de dados do objecto geográfico mantém-se também inalterado.

Para o registo do ciclo de vida individual da versão de cada objecto optou-se por recorrer a dois atributos: *inicioCicloVidaVersao* (*beginLifespanVersion*) e *fimCicloVidaVersao* (*endLifespanVersion*). O atributo *inicioCicloVidaVersao* especifica o momento e data em que a versão do conjunto de dados geográficos (CDG) foi registada ou alterada. O atributo *fimCicloVidaVersao* especifica o momento e data em que a versão do CDG foi substituída ou eliminada.

Estes atributos declaram o ciclo de vida da versão a que cada objecto está afecto e distingue-se do ciclo de vida dos objectos do mundo real, descritos pelos objectos geográficos pertencentes a

esse CDG. Os fenómenos do mundo real caracterizados pelos objectos geográficos podem iniciar-se e extinguir-se de forma relativamente independente dos objectos geográficos que os caracterizam. Para descrição dos ciclos de vida dos objectos geográficos individualmente optou-se por assumir os atributos: *inicioCicloVidaObjecto* (*beginLifeSpanObject*) e *fimCicloVidaObjecto* (*endLifeSpanObject*). Para o exemplo de uma estação de monitorização pode especificar-se o seu ciclo de vida do seguinte modo:

- No momento  $t_1$  uma estação de monitorização é registada com o objectivo de monitorização de vigilância das massas de água;

<i>Id</i>	<i>inicioCiVidaVersao</i>	<i>fimCiVidaVersao</i>	<i>inicioCiVidaObjecto</i>	<i>fimCiVidaObjecto</i>	<i>Obj</i>
3000016	$t_1$		$t_1$		Vigilância

- No momento  $t_2$  a estação de monitorização é alterada e adquire a função de monitorização operacional;

<i>Id</i>	<i>inicioCiVidaVersao</i>	<i>fimCiVidaVersao</i>	<i>inicioCiVidaObjecto</i>	<i>fimCiVidaObjecto</i>	<i>Obj</i>
3000016	$t_1$	$t_2$	$t_1$		Vigilância
3000016	$t_2$		$t_1$		Operacional

- No momento  $t_3$  a estação de monitorização é retirada e a entidade geográfica correspondente é mantida como histórico.

<i>Id</i>	<i>inicioCiVidaVersao</i>	<i>fimCiVidaVersao</i>	<i>inicioCiVidaObjecto</i>	<i>fimCiVidaObjecto</i>	<i>Obj</i>
3000016	$t_1$	$t_2$	$t_1$		Vigilância
3000016	$t_2$	$t_3$	$t_1$	$t_3$	Operacional

A gestão e publicação de múltiplas versões de um objecto geográfico de uma forma consistente não são ainda totalmente endereçadas nas normas ISO 19100 e, conseqüentemente, também não o são nos documentos de enquadramento INSPIRE para a especificação de informação geográfica. Tal implica que as especificações de informação geográfica são definidas para a publicação das últimas versões (válidas ou substituídas). A manutenção e disponibilização de histórico de versões implicariam trabalho de especificação adicional com vista a assegurar a consistência dos objectos geográficos em qualquer momento (INSPIRE D2.5, 2010a). Os casos em que tal é particularmente evidente são os de associações compostas em que uma alteração num objecto geográfico resultaria numa nova versão do objecto geográfico associado (*vide* secção 3.6.1).

Na eventualidade de um CDG ser considerado como um todo, defende-se que será mais apropriado descrever o seu ciclo de vida ao nível dos metadados através de um sistema de referência temporal, ao invés de individualizar essa informação para cada objecto (entidade geográfica). O sistema de referência temporal é considerado um elemento de metadados que satisfaz o requisito de acesso à informação sobre a dimensão temporal dos dados, conforme referido no nº 2, alínea d), do artigo 8º da directiva 2007/2/CE. Segundo o regulamento<sup>53</sup> que

<sup>53</sup> Regulamento n.º 1205/2008 da Comissão, de 3 de Dezembro

estabelece as modalidades de aplicação da directiva INSPIRE (Jornal Oficial da União Europeia, 2008) assume-se, por omissão, o calendário gregoriano como sistema de referência, com as datas expressas em conformidade com a norma ISO 8601. É requerido, pelo menos um dos seguintes elementos:

- extensão temporal, período de tempo em que é válido o conteúdo do recurso;
- data de publicação, ou data de início de validade;
- data da última revisão, caso tenha havido revisão;
- data da criação do recurso.

O domínio de valores dos elementos de metadados referidos é um conjunto de datas. Cada data diz respeito a um sistema de referência temporal e deverá ser expressa de forma compatível com esse sistema. Os atributos relativos à caracterização do ciclo de vida dos objectos geográficos foram implementados, a título de exemplo, às classes do diagrama de classes referente à hidrografia (*vide* secção 4.4).

### 3.4 UML como linguagem de modelação de dados geográficos

A UML (*Unified Modelling Language*) é a linguagem conceptual esquemática aconselhada e adoptada pelas instituições de normalização para a especificação de informação geográfica. Os diagramas de classes UML, complementados com a linguagem de declaração de restrições OCL<sup>54</sup> (*Object Constraint Language*) e um grupo de definições-tipo (primitivas) são aconselhadas pelas normas internacionais ISO 19100 e INSPIRE.

A UML é usada para a especificação, visualização e documentação de sistemas de informação (Silva e Videira, 2005). Segundo os mesmos autores, a estrutura de conceitos do UML pode ser interpretada como: i) “coisas”, ou elementos básicos, com base nos quais se definem os modelos; ii) associações, que relacionam elementos; e iii) diagramas, que definem regras de agrupamentos dos elementos.

No âmbito do trabalho de tese utilizaram-se diagramas de classes UML para definir, segundo a abordagem centrada em objectos, o sistema real declarado no universo de discurso. Os diagramas de classes foram utilizados para declarar as classes, as suas propriedades (atributos), os tipos de dados e as associações entre esses objectos. Este tipo de diagramas permitiu declarar a interpretação do mundo real nos aspectos relevantes de forma a cumprir os objectivos do

---

<sup>54</sup> *Linguagem para especificação formal de restrições, parte integrante do UML (OMG, 1999)*

trabalho. Os diagramas de classes UML fornecem uma base para a implementação computacional da conceptualização do universo de discurso modelado (Rumbaugh *et al.*, 1991).

Com vista a proporcionar uma conversão directa entre o modelo lógico e o modelo físico de dados, optou-se por adoptar o perfil *ArclInfo UML Model* (ESRI, 2005). Este perfil possibilitou declarar os elementos do diagrama de classes UML de forma a poderem ser directamente implementados num SGBD com suporte para dados geográficos, produzindo desta forma uma estrutura de dados física de acordo com os diagramas de classes UML estabelecidos. Para efeitos de declaração do MDG foram adoptadas as seguintes definições:

- «tipo abstracto» (*abstract type*): um tipo que não pode ser instanciado, mas que pode ter atributos. As classes do tipo abstrato são utilizadas para declarar propriedades e comportamentos comuns entre as classes que delas dependem por generalização;
- «associação» (*association role*): uma função que designa um valor ou objecto com o qual um tipo tem uma relação, conforme referido no artigo 8.º, n.º 2, alínea b), da directiva INSPIRE;
- «atributo» (*attribute*), uma característica de um tipo, conforme referido no artigo 8.º, n.º 2, alínea c), da directiva INSPIRE;
- «lista de códigos» (*code list*): uma enumeração aberta que pode ser alargada;
- «tipo de dados» (*data type*): descritor de um conjunto de valores sem identidade, em conformidade com a norma ISO 19103;
- «enumeração» (*enumeration*): um tipo de dados cujas instâncias formam uma lista fixa de valores literais denominados. Os atributos de um tipo enumerado só podem assumir valores dessa lista;
- «identificador de objecto externo» (*external object identifier*): um identificador de objecto único publicado pela entidade responsável, que pode ser utilizado em aplicações externas para referenciar o objecto geográfico. “CodHidro” é, por defeito, o atributo no qual são registados os valores dos identificadores externos do MDG;
- «identificador» (*identifier*): uma sequência de caracteres linguisticamente independente capaz de identificar de forma única e permanente aquilo a que está associada, em conformidade com a norma EN ISO 19135. “IDHidro” é, por defeito, o atributo que no qual são registados os valores dos identificadores únicos do MDG;
- «instanciar» (*instantiate*): criar um objecto que está em conformidade com a definição, os atributos, as associações e as restrições especificadas para o tipo instanciado;
- «informação do ciclo de vida» (*life-cycle information*): um conjunto de propriedades de um objecto geográfico que descreve as características temporais de uma versão de um objecto geográfico ou as alterações entre versões;

- «elemento de metadados» (*metadata element*): uma unidade discreta de metadados, de acordo com o estabelecido na norma EN ISO 19115;
- «pacote» (*package*): um mecanismo para fins gerais de organização de elementos em grupos;
- «registo» (*register*): um conjunto de ficheiros que contém identificadores atribuídos a itens com descrição dos itens associados, de acordo com a norma EN ISO 19135;
- «tipo de objecto geográfico» (*spatial object type*): uma classificação de objectos geográficos;
- «estilo» (*style*): a correspondência entre tipos de objectos geográficos e suas propriedades e restrições, por um lado, e os símbolos parametrizados utilizados no desenho de mapas, por outro;
- «subtipo de» (*sub-type of*): uma associação entre um tipo mais específico e um tipo mais geral, em que o tipo mais específico é plenamente coerente com o tipo mais geral e contém informação adicional, conforme adaptado da norma ISO 19103;
- «tipo» (*type*): tipo de objecto geográfico ou de dados. Pode equivaler a um conjunto de dados geográficos;
- «voidable/nullable» (potencialmente vazio): o facto de, relativamente a um atributo ou associação, poder ser disponibilizado um valor «void» (vazio) se os conjuntos de dados geográficos não contiverem qualquer valor correspondente ou se não for possível derivar qualquer valor correspondente a custos razoáveis. A utilização deste estereótipo de UML pode ser válida sintática ou semanticamente embora o atributo em causa possa não ocorrer no mundo real, ou ocorrendo, o seu valor não ter sido adquirido. Assim, as razões que levam a que um atributo «Voidable/Nullable» tenha um valor nulo são de dois tipos: não povoado (a característica não faz parte do conjunto de dados mantido pela autoridade competente, embora a característica possa existir no mundo real), desconhecido (o valor correcto da característica é desconhecido da autoridade competente, embora possa ser mensurável e, portanto, existir no mundo real).

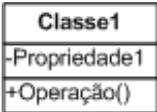
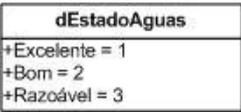
### 3.4.1 Perfil UML

O perfil UML constitui-se como um conjunto específico de estereótipos, marcas de valor, restrições e ícones que especializam e configuram o UML para um determinado domínio de aplicação ou um determinado processo de desenvolvimento. Um perfil UML não introduz novos conceitos de base ao UML (Silva e Videira, 2005).

Estas definições foram aplicadas segundo o paradigma da modelação de dados centrada em objectos com as características definidas na secção 3.6 (Modelação centrada em objectos). Os

estereótipos utilizados na declaração do MDG basearam-se nos diagramas de classes da UML 2.1 incluídos no perfil *ArcInfo UML Model*. O perfil ArcInfo UML estende o UML com estruturas ArcInfo que permitem modelar um sistema de informação durante a fase do seu desenho. O ArcGIS é assim utilizado como a plataforma de implementação do esquema de base de dados espaço-temporal, que consiste na aplicação do processo de Booch *et al.* (1998), aplicado aos conceitos da representação geográfica e temporal. O Quadro 2 apresenta os elementos gráficos estruturais da UML utilizados.

Quadro 2. Elementos gráficos de estrutura utilizados na UML

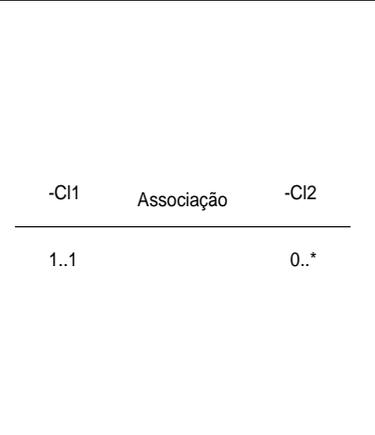
Símbolo	Nome	Descrição
	Classe	São descrições de grupos de objectos com propriedades (atributos), comportamentos (operações) e relações comuns
	Pacote	Um pacote ( <i>package</i> ) é um elemento meramente organizacional. Permite agregar diferentes elementos de um sistema em grupos, de forma que faça sentido semântico ou estruturalmente.  Os pacotes representam um espaço de nomes ( <i>namespace</i> ) numa linguagem de programação. Num diagrama eles são usados para representar partes de um sistema que contém um grupo de elementos do MDG.
	Anotação	Uma nota consiste num comentário sem qualquer impacto semântico, já que o seu conteúdo não altera em geral o significado do diagrama no qual ela se encontra. É assim normal e útil incluir notas que descrevam classes, relações ou outros elementos, de forma a facilitar a sua interpretação.
	Lista de códigos	Consiste numa restrição imposta aos valores dos atributos das classes. Os valores ficam restritos à lista de códigos admissíveis.  São utilizados para descrever uma enumeração mais aberta/flexível no sentido em que não são utilizados literais para a identificação do valor

Para o caso das especificações de informação geográfica a norma ISO 19103 define um conjunto de estereótipos UML que podem ser utilizados na definição do esquema conceptual dos dados. A norma ISO 19109, por sua vez, estabelece as regras para a definição do esquema de aplicação a partir do qual é especificado o conteúdo e estrutura das entidades a considerar num certo domínio de aplicação. Neste sentido, a ISO 19103 e 19109 suportam a definição do diagrama de classes para informação geográfica, no entanto não especificam a forma como estes modelos devem ser implementados. A ISO 19118 fornece as regras de codificação (*encoding rules*) que permitem que seja gerado um esquema XML a partir do modelo original em UML.

Para além dos elementos gráficos de estrutura, a linguagem UML disponibiliza também elementos gráficos para a declaração de associações entre classes de objectos. O Quadro 3 ilustra as

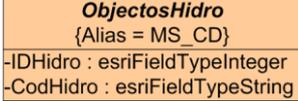
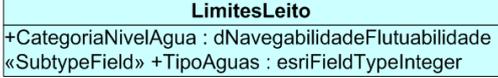
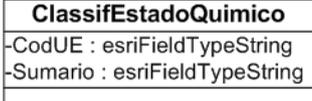
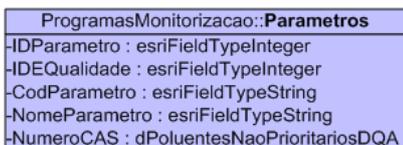
notações gráficas utilizadas na UML para declarar este tipo de elementos no modelo lógico desenvolvido neste trabalho.

Quadro 3. Elementos gráficos de associação utilizados na UML

Símbolo	Nome	Descrição
	Associação	<p>Representam as associações entre as classes de objectos. A associação é um tipo de relação entre os objectos, dado que a UML prevê vários tipos de relacionamentos específicos para captar diferentes realidades. Aplica-se a seguinte expressão de multiplicidade:</p> <p>1, poderá haver uma ocorrência do objecto;</p> <p>1..*, deve haver, pelo menos, uma ocorrência do objecto;</p> <p>0..1, a ocorrência pode não existir, mas a existir apenas pode haver uma;</p> <p>0..*, a ocorrência pode não existir, mas pode haver uma ou mais ocorrências do objecto.</p>
	Agregação	A agregação é um caso especial das associações, utilizada quando um objecto consiste numa agregação de um conjunto de outros objectos.
	Composição	A noção de composição é mais forte do que a de agregação, porque assume que os objectos utilizados para a composição, por si só, não se distinguem dos restantes. Esses objectos apenas podem ser distinguidos no contexto do objecto que compõem. É o caso de as bacias hidrográficas serem compostas por sub-bacias hidrográficas.
	Generalização	É uma associação que permite representar a noção de pertença ou especificidade de objectos. As classes representam conjuntos de objectos que partilham informação e comportamentos. No entanto, nesse conjunto de objectos poderão existir subconjuntos que partilhem informação específica, não relevante para os restantes objectos.

Com o objectivo de facilitar a interpretação dos diagramas de classes estabeleceram-se códigos de cores que foram atribuídos às classes UML representadas de acordo com o ilustrado no Quadro 4.

Quadro 4. Cores atribuídas às classes UML do MDG

Tipo de classe	Cor atribuída
Classes de desmultiplicação de associações de cardinalidade N:M (muitos para muitos) ou super-classes de objectos primários (pe. <i>Object</i> , <i>Feature</i> )	Amarelo  <pre> classDiagram     class ESRI_Classes_Feature {         +Shape : esriFieldTypeGeometry     }                     </pre>
Classes abstractas (que fornecem as características comuns a classes específicas que as possam herdam)	Laranja  <pre> classDiagram     class ObjectosHidro {         {Alias = MS_CD}         -IDHidro : esriFieldTypeInteger         -CodHidro : esriFieldTypeString     }                     </pre>
Classes de objectos geográficos	Azul claro  <pre> classDiagram     class LimitesLeito {         +CategoriaNivelAgua : dNavegabilidadeFlutuabilidade         «SubtypeField» +TipoAguas : esriFieldTypeInteger     }                     </pre>
Classes de objectos alfanuméricos	Branco  <pre> classDiagram     class ClassifEstadoQuimico {         -CodUE : esriFieldTypeString         -Sumario : esriFieldTypeString     }                     </pre>
Classes de tipos de objectos	Roxo  <pre> classDiagram     class ProgramasMonitorizacao_Parametros {         -IDParametro : esriFieldTypeInteger         -IDQualidade : esriFieldTypeInteger         -CodParametro : esriFieldTypeString         -NomeParametro : esriFieldTypeString         -NumeroCAS : dPoluentesNaoPrioritariosDQA     }                     </pre>
Classes de subtipos de objectos	Lilás  <pre> classDiagram     class NaoNavegaveisNemFlutuaveis {         -TipoAguas : esriFieldTypeInteger = 1     }                     </pre>

### 3.5 O processo de modelação de dados geográficos aplicado às águas superficiais

A metodologia de modelação de dados geográficos aplicada no desenvolvido do MDG objecto desta dissertação teve em consideração a norma ISO 19109 (*Rules for Application Schema*). A norma ISO 19109 define o processo de modelação de dados geográficos tal como ilustrado na Figura 6, entendendo-se o processo de especificação como o que se situa entre a definição do universo do discurso e a série de conjuntos de dados geográficos, representada no final da figura por “dados”.

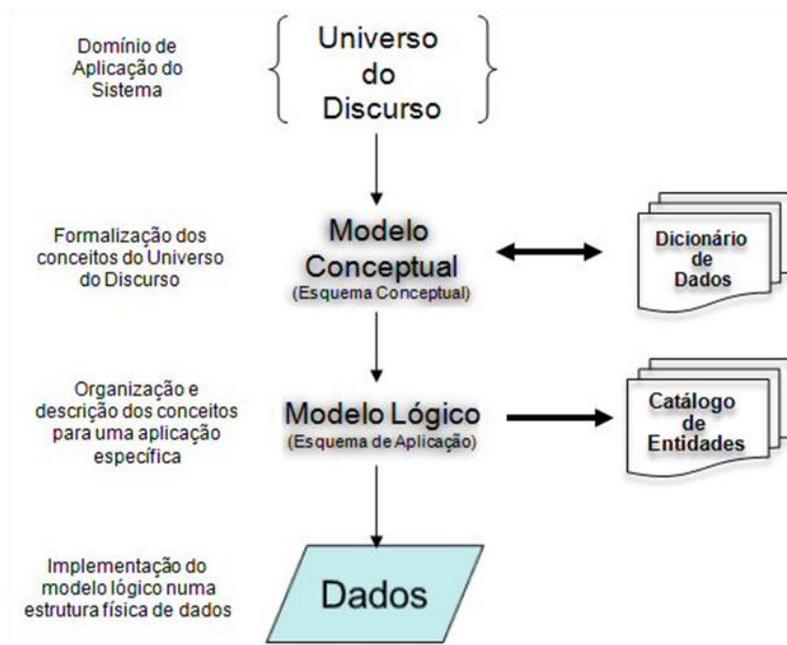


Figura 6. Esquema simplificado do processo de modelação de dados. Adaptado da norma ISO 19109.

O catálogo de entidades (*feature catalogue*), em conjunto com o dicionário de dados (*data dictionary*) representados na Figura 6, foram desenvolvidos com o objectivo de identificar os conceitos que constam do MDG e apresentar a sua descrição no âmbito do sistema a modelar. Estes produtos paralelos ao MDG possibilitam que os seus utilizadores interpretem correctamente os conceitos modelados. Pretende-se assim evitar que conceitos com uma relevante proximidade geo-semântica sejam indevidamente interpretados Brodner e Bédard (2002).

É reconhecida uma tendência, quase inata, de muitos modeladores definirem o maior número possível de atributos para as classes de objectos identificáveis no sistema que se pretende descrever, tentando assim que exista uma caracterização exaustiva das propriedades reconhecíveis/identificáveis dessa classe de objectos. Esta tendência resulta frequentemente numa estrutura de dados complexa e difícil de gerir, e que exige dos utilizadores o conhecimento de regras complexas que conduzem normalmente ao não preenchimento de valores dos atributos considerados.

Nos desenhos do MDG procurou-se incluir apenas propriedades (atributos) que se encontrassem estáveis, ou apresentassem forte evidência de utilidade. Assim, foi dada particular atenção ao nível de abstracção temática do modelo, o que significa que, tanto quanto possível, as entidades representadas foram mantidas o mais “magras” possível, permitindo com isso um maior espectro de utilização final.

As propriedades que descrevem um estado, ou classificação, que apresentem um potencial de dinamismo considerável, foram modeladas em classes separadas e associadas através de códigos identificadores. Também os atributos que pudessem ser calculados, ou aqueles cujo valor fosse produto de qualquer processo análise espacial, foram evitados. No entanto, em casos

pontuais os “atributos resultado” existem. Um dos exemplos é a classificação do estado geral da massa de água superficial, que poderá ser calculado com base nos atributos *EstadoEcológico* e *EstadoQuímico*.

O MDG desenvolvido suporta assim os resultados do exercício do planeamento, em particular, os de elaboração dos PGRH na perspectiva técnica de quem necessita de utilizar os conceitos modelados para fins de planeamento, gestão e relato ao WISE. Nesse sentido, procurou-se desenvolver elementos que cumprissem os requisitos DQA e fossem transformáveis para os temas INSPIRE associados. Desta forma procuraram-se similaridades nas entidades consideradas no sistema de informação WISE, e nas especificações dos temas INSPIRE, de forma a potenciar uma transformação mais facilitada entre o MDG desenvolvido e estas estruturas de dados.

A Portaria 1284/2009, de 19 de Outubro, que regulamenta o n.º 2 do artigo 29.º da LA (referente aos PGRH), estabelece o conteúdo destas figuras de planeamento definindo como detalhe territorial o de desagregação espacial máxima que não prejudique a compreensão dos problemas, as respectivas causas e soluções propostas. Este diploma legal aponta como “espaços territoriais hidrográficos” elementares, os seguintes: i) bacia hidrográfica; ii) sub-bacia hidrográfica; iii) massa de água subterrânea; iv) massa de água de transição e faixa envolvente; e v) massa de água superficial interior.

Na situação em que se deseje partilhar dados geográficos, ficará mais facilitada a partilha entre modelos de dados que consideram entidades similares, mesmo que estruturadas de forma distinta, do que entre modelos que consideram entidades totalmente díspares em termos conceptuais. Neste último caso, passa a não se tratar de uma simples questão de transformação, mas sim de um caso em que essa mesma transformação pode ficar inviabilizada.

Apesar das funcionalidades de segmentação dinâmica e de análise em rede geométrica serem reconhecidas como de evidente utilidade no cálculo e análise de recursos hídricos, estes elementos não são modelados no âmbito da implementação da DQA, nomeadamente na especificação de dados no âmbito do WISE. No entanto, reconhecendo a importância destas funcionalidades optou-se por as considerar no desenvolvimento do modelo de dados. O MDG contempla a possibilidade de incluir uma rede geométrica em que participam os segmentos dos cursos de água e os respectivos nós (aos quais são aplicáveis as funcionalidades de segmentação dinâmica por via de um sistema de referência geográfica indirecta).

Um sistema de referência geográfica permite relacionar dados com uma determinada posição espacial. Os sistemas de referência podem ser directos ou indirectos (ISO 19112: 2003), sendo os directos resultantes de um método matemático de atribuição de coordenadas a uma determinada localização e os indirectos resultantes de um método de atribuição de uma localização com base num endereço ou identificador (geocódigo). A secção 4.8 explora a aplicação dos sistemas de referência geográfica indirecta com base na rede hidrográfica.

### 3.5.1 Universo do discurso

A descrição do universo de discurso, por alguns autores referido como domínio de discurso, assume o formato de um documento de texto onde é descrito, com base em linguagem corrente, o universo de aplicação dos conceitos e objectos a modelar. Trata-se de uma descrição do sistema que se pretende ver caracterizado através da representação dos elementos tangíveis que o constituem. O universo de discurso é assim entendido como a definição do âmbito geográfico, técnico e científico do sub-sistema do mundo real a caracterizar por meio de abstracções geográficas. O universo de discurso que se aplica ao trabalho desenvolvido é descrito no parágrafo seguinte.

O MDG desenvolvido tem como objectivo caracterizar os elementos físicos e abstractos correspondentes à localização e descrição das massas de água superficiais (rios, lagos, transição e costeiras) no que respeita aos seus aspectos de qualidade química e ecológica, bem como aos elementos que, não representando propriamente massas de água, contribuem de forma directa ou indirecta para o estado das mesmas no âmbito dos objectivos ambientais preconizados pela DQA e LA. Integram esta especificação as classes de objectos que caracterizam as pressões antropogénicas a que estão sujeitas as massas de água, bem como os programas de medidas que visam mitigar o seu efeito, nomeadamente tendo em consideração os vários tipos de pressões antropogénicas (European Commission, 2009b). É considerada a rede de estações de monitorização e as respectivas séries temporais a integrar em programas de monitorização, cujo objectivo é aferir sobre o impacto das acções de gestão.

São consideradas as zonas denominadas como zonas protegidas no enquadramento legal interno aplicável ao planeamento e gestão de recursos hídricos, bem como as áreas classificadas como áreas protegidas para a conservação da natureza e biodiversidade. Em resultado de uma visão multidisciplinar e integrada são considerados aspectos próprios de outras directivas relacionadas com a DQA, tais como a directiva Aves, directiva Habitats e a directiva de avaliação e gestão do risco de inundação (DAGRI). É proporcionada também a caracterização de diversos tipos de infra-estruturas que possam influenciar a qualidade ecológica e química das massas de água, bem como o escoamento.

O universo de discurso é formalmente descrito através de um modelo conceptual, também denominado esquema conceptual.

### 3.5.2 Modelo conceptual (esquema conceptual)

O universo de discurso é formalmente descrito através do modelo conceptual, também denominado esquema conceptual. O esquema conceptual consiste na descrição formal de um modelo conceptual (ISO 19101, *Geographic information -- Reference model*). A ISO 19107 (*Geographic information - Spatial schema*) contém uma descrição formal dos conceitos

geométricos e topológicos a utilizar na declaração de um esquema conceptual declarado em UML. O esquema conceptual define-se como a descrição formal de um modelo conceptual (ISO 19101).

A cada classe de objectos considerada no modelo conceptual corresponde um termo e definição no dicionário de dados e respectivo catálogo de entidades. O modelo conceptual genérico do MDG está representado na Figura 7.

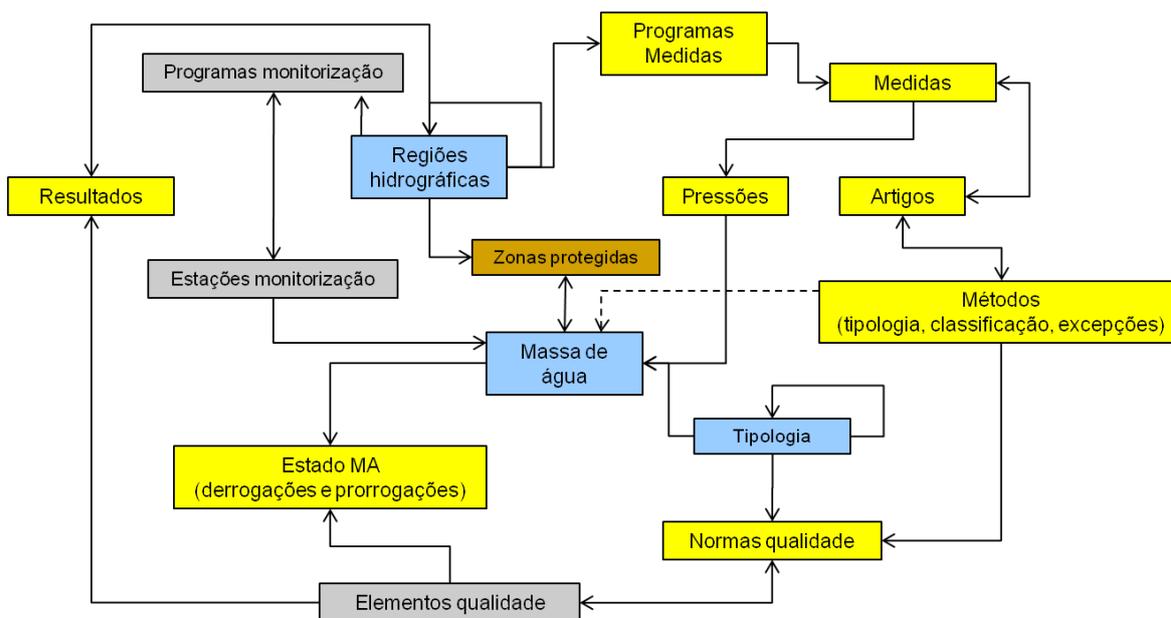


Figura 7. Modelo conceptual genérico do modelo de dados geográficos

Os conceitos considerados no modelo conceptual de dados estão definidos no catálogo de entidades (em CD-Rom anexo) e basearam-se nas seguintes fontes:

- legislação europeia e nacional aplicável ao planeamento e gestão de recursos hídricos;
- glossário internacional de hidrologia<sup>55</sup> (UNESCO/WMO), a partir do qual foram estabelecidas as Definições dos conceitos aplicáveis à hidrografia, hidrologia e hidráulica o mais unânime e universalmente aceites pela comunidade científica;
- dicionário de conceitos INSPIRE (IFCD - *INSPIRE Feature Concept Dictionary*);
- dicionário de dados DFDD<sup>56</sup>, quando aplicável (DFDD, 2010);
- documentos-guia sobre a implementação comum da DQA;
- documentos técnicos aplicados ao relato de informação para o WISE;

<sup>55</sup> <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary>

<sup>56</sup> *DGIWG Feature Data Dictionary (DFDD): contém a descrição dos conceitos utilizados pelos estados membros da comunidade DGIWG, de forma a caracterizar aspectos de fenómenos do mundo real. É baseado no seu antecessor Feature and Attribute Coding Catalogue (FACC), uma componente do Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST). O DFDD é baseado na ISO 19126 e mantido segundo os princípios da ISO 19135.*

- caderno de encargos para a elaboração do PGRH da região hidrográfica do rio Guadiana;
- conceitos preconizados pelas autoridades competentes para o planeamento e gestão de recursos hídricos a nível regional, nacional e europeu.

### 3.5.2.1 Critérios do processo de modelação de conceitos

Para a declaração do modelo conceptual foi utilizada a linguagem conceptual esquemática UML, que dispõe dos elementos linguísticos necessários à manipulação do conteúdo do modelo conceptual e é interpretável tanto por humanos como por máquinas. A linguagem UML utilizada é baseada num formalismo conceptual que fornece as regras, as restrições, as funções, os processos e outros elementos que constituem, no seu todo, esse mesmo formalismo.

Dado que os conceitos considerados nos diplomas legais aplicáveis não foram definidos de raiz para permitir uma identificação espacial inequívoca, é frequente um conceito não ser suficientemente claro no diploma legal que o refer (pe. perímetros de protecção e zonas adjacentes às captações superficiais e zonas de infiltração máxima, art. 37.º da LA), para permitir essa delimitação. Para esses casos, recorreu-se a um suporte técnico e científico que complementasse essa definição. Neste âmbito, foram remetidas para o dicionário de dados as definições completas de todos os conceitos considerados no modelo conceptual desenvolvido, do qual constam também as fontes bibliográficas da definição.

O modelo conceptual inclui todos os conceitos (não apenas os respeitantes aos elementos geográficos), as suas propriedades, associações e restrições. Nesta fase do processo de modelação foi dado ênfase ao entendimento comum dos conceitos envolvidos. Foram tidos em consideração os seguintes aspectos:

- DQA, LA e diplomas legais associados;
- intervalo de escalas de representação espacial entre 1:10.000 a 1:250.000;
- ser baseado em “unidades funcionais”: bacia de drenagem funcional elementar e massa de água;
- a partilha de dados para o relato ao sistema WISE;
- a transformação de dados para os temas da INSPIRE associados;
- a adopção, para os casos cuja definição não tenha suporte legal, do glossário internacional de hidrologia (UNESCO/WMO);
- o EuroRegionalMap, que adopta o formato do catálogo de entidades e atributos do DIGEST (FACC).

Com vista a facilitar a compreensão, não foram representados no modelo conceptual a lista de atributos exaustiva, os seus tipos ou a multiplicidade das associações entre classes de objectos. Assim, este tipo de modelos contribui para partilhar uma visão dos conceitos em causa na descrição do sistema real, permitindo partilhar com os seus utilizadores os critérios adoptados. Em Moody (2005) são propostos elementos de avaliação da qualidade de modelos conceptuais de dados.

### 3.5.2.2 Dicionário de dados

O dicionário de dados consiste num registo dos termos e conceitos representados nos diagramas de classes UML do modelo de dados (geográficas e não geográficas), identificáveis no universo de discurso definido, e formalizados no modelo conceptual de dados (esquema conceptual). Constam do dicionário de dados: o nome do conceito, nome de substituição (alias), a definição textual e a fonte bibliográfica, se aplicável.

A existência de um dicionário de dados facilita o entendimento e harmonização dos conceitos (nos quais se baseiam as especificações dos tipos entidades geográficas utilizadas em diferentes esquemas de aplicação. A título de exemplo, os conceitos subjacentes à série cartográfica nacional 1:10.000 são, na grande maioria, distintos dos conceitos presentes na série cartográfica da carta militar do IGeoE (série M888), sendo que ambos os catálogos de entidades (para estes casos denominados catálogos de objectos) diferem dos que podem ser identificados na Lei da Água e diplomas complementares no que respeita ao domínio da hidrografia e hidrologia.

O modelo lógico de dados, o catálogo de entidades e o respectivo dicionário de dados promovem no seu conjunto a disseminação, partilha e uso de informação geográfica, dado que oferecem uma visão integral dos elementos do modelo lógico de dados e permitir por isso uma compreensão da estrutura, conteúdo e significado dos objectos representados. Salienta-se a vantagem da integração do dicionário de dados no catálogo de entidades oferecer esta visão integral dos elementos do MDG através de sua apresentação numa estrutura navegável em HTML.

### 3.5.2.3 Elementos de metadados codificados em XML

Durante o processo de declaração do modelo conceptual de dados foi produzida metainformação relativa à descrição dos conceitos modelados. Estes metadados constam das marcas de valor (*tagged values*) de cada classe, atributo, associação e lista codificada de valores. Esta informação consta do elemento de metadados relativo ao “resumo do recurso”, cujo conteúdo é de texto livre<sup>57</sup>.

---

<sup>57</sup> Domínio de valores dos elementos de metadados expresso numa ou mais linguagens naturais (Regulamento CE n.º 1205/2008, de 3 de Dezembro de 2008)

Com base no conhecimento de que a partir dos diagramas de classes UML não é possível extrair os metadados para a base de dados geográficos final, mas que simultaneamente é reconhecida a vantagem de associar aos elementos do modelo conceptual a sua metainformação, optou-se por não dissociar os dois.

Para que a metainformação constasse no dicionário de dados e posteriormente no modelo físico de dados, foi necessário executar uma extracção desses metadados a partir dos diagramas de classes UML. Para tal foram identificados os elementos de linguagem de marcação extensível (XML), resultantes dos diagramas de classes UML, que continham os conceitos e definições dos elementos do modelo conceptual, tendo estes sido individualizados para um novo ficheiro XML.

A Figura 8 refere-se à marca de valor *documentation* utilizada para registar as descrições dos conceitos modelados.

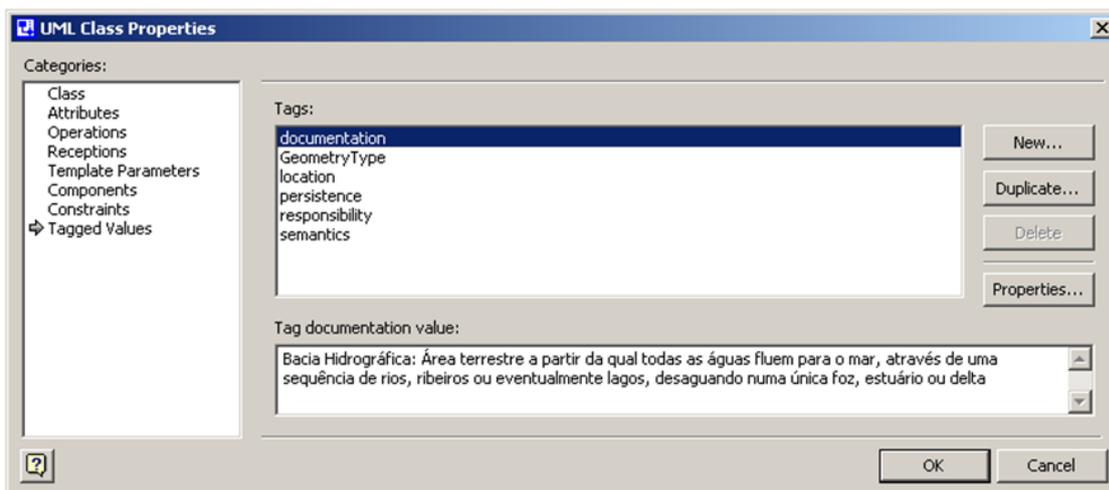


Figura 8. Exemplo de utilização da marca de valor *documentation* para descrição do elemento UML

Apresenta-se na Figura 9 o código XSL (XML StyleSheet) utilizado para extrair do ficheiro XMI (XML Metadata Interchange) do modelo conceptual, as definições dos conceitos subjacentes aos elementos declarados através dos diagramas de classes UML.

Dado que o perfil UML utilizado na declaração do modelo de dados se baseia em estereótipos específicos da tecnologia ESRI (perfil ArcInfo UML model), o ficheiro XMI produzido está de acordo com o esquema XML de uma ESRI Geodatabase (ESRI, 2008).

Com a identificação dos elementos que contêm as definições e descrição dos elementos representados no modelo de dados, foi produzido um ficheiro XSL para individualizar os valores da marca de valor *documentation*. A afectação do ficheiro XSL ao ficheiro XMI, permite obter um ficheiro XML com a estrutura do que se apresenta na Figura 9.

```

<?xml version="1.0"?>
<xsl:stylesheet version="1.0" xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform"
xmlns:esri="http://www.esri.com/schemas/ArcGIS/9.3" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xsl:output indent="yes"/>
  <xsl:template match="/">
    <!-- Para todas as definições das entidades presentes no modelo de dados -->
    <ElementDescriptions>
      <xsl:for-each
select="//Foundation.Core.Class[Foundation.Core.ModelElement.name!='&lt;unspecified&gt;']">
        <ModelElement>
          <Name>
            <xsl:value-of select="Foundation.Core.ModelElement.name"/>
          </Name>
          <xsl:variable name="codeElement"
select="Foundation.Core.ModelElement.taggedValue/Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue[Founda
tion.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag='documentation']"/>
            <xsl:variable name="tagValue"
select="$codeElement/Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value"/>
            <Description>
              <xsl:value-of select="$tagValue"/>
            </Description>
          </ModelElement>
        </xsl:for-each>
      </ElementDescriptions>
    </xsl:template>
  </xsl:stylesheet>

```

Figura 9. Ficheiro XSL de extracção de definições das classes consideradas nos diagramas de classes UML

De acordo com a ferramenta CASE utilizada (MS Visio™) e com o perfil UML adoptado (*ArcInfo UML model*), a marca de valor *documentation* encontra-se referenciada pelo elemento XML <Foundation.Extension\_Mechanisms.TaggedValue.tag>. A descrição deste elemento encontra-se no elemento XML <Foundation.Extension\_Mechanisms.TaggedValue.value>. A Figura 10 ilustra um exemplo dos elementos XML referidos.

```

<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue xmi.id="UIDE1E0CA94-B1A8-45CA-9931-8BB4740C7603">
<Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag>documentation</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedVal
ue.tag>

  <Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value>Bacia Hidrográfica: Área terrestre a partir da qual todas
as águas fluem para o mar, através de uma sequência de rios, ribeiros ou eventualmente lagos, desaguando
numa única foz, estuário ou delta</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value>

</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue>

```

Figura 10. Excerto do código XML exportado a partir do modelo de dados UML, respeitante à definição de bacia hidrográfica

Aplicando-se a função de formatação ao ficheiro XML com origem na aplicação de modelação (MS Visio™) obteve-se um ficheiro do qual se apresenta extracto na Figura 11.

```

<?xml version="1.0" ?>
<ElementDescriptions xmlns:esri=http://www.esri.com/schemas/ArcGIS/9.3
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
...
<ModelElement>
  <Name>RegioesHidrograficas</Name>
  <Description>A classe de região hidrográfica consiste no polígono que identifica a fronteira
  administrativa. Centraliza a informação a reportar ao nível da RH. Agrega a área de mar e terra que
  inclui todas as massas de águas correspondentes. (Lei da Água) «Região hidrográfica» a área de terra
  e de mar constituída por uma ou mais bacias hidrográficas contíguas e pelas águas subterrâneas e
  costeiras que lhes estão associadas, constituindo-se como a principal unidade para a gestão das
  bacias hidrográficas
  </Description>
</ModelElement>

```

Figura 11. Ficheiro XML formatado com o nome, definição, e descrição das classes presentes nos diagramas UML

Com a estrutura física dos dados implementada num sistema de gestão de base de dados, a metainformação residirá numa coluna BLOB<sup>58</sup> de uma tabela da base de dados. Na eventualidade de a informação estar em sistema de ficheiros esses metadados seriam armazenados documento XML estruturado de acordo com a norma ISO 19139:2005. Os elementos de metadados neste formato foram manipulados com *XPath*<sup>59</sup>. Optou-se por integrar no mesmo documento o dicionário de dados e o catálogo de entidades.

### 3.5.3 Modelo lógico (esquema de aplicação)

O modelo lógico, ou esquema de aplicação, consiste na definição exhaustiva, através de diagramas de classes UML, dos elementos do modelo conceptual, nomeadamente: tipos de entidades (materializadas em classes de objectos); atributos; tipos de dados; listas codificadas de valores; associações entre classes e restrições de utilização ou de aplicação.

No desenvolvimento do modelo lógico de dados foram utilizados elementos com origem nas normas ISO referentes à informação geográfica (coleção ISO 19100), bem como as normas de enquadramento para a especificação de informação geográfica da Directiva INSPIRE, nomeadamente as seguintes:

- *definition of annex theme and scope (D 2.3);*
- *generic conceptual model (D 2.5);*
- *methodology for the development of data specifications (D 2.6);*
- *guidelines for the encoding of spatial data (D 2.7).*

<sup>58</sup> *Binary Large Object*

<sup>59</sup> *XPath Language, linguagem de programação que permite construir expressões que recorrem e processam um documento XML de modo parecido a uma expressão regular (wikipedia)*

Destaca-se das normas ISO a aplicação da norma 19109 – *Rules for Application Schema* – e da norma 19131 – *Data product specifications*. O modelo lógico contém uma descrição formal da estrutura e do conteúdo dos dados, incluindo:

- representação dos tipos de entidades (*spatial data objects*, na denominação sugerida pelas normas INSPIRE);
- atributos e tipos de dados (*data types*);
- restrições ao domínio de valores dos atributos declarados através de listas codificadas de valores;
- associações entre classes de objectos do modelo de dados.

Durante o desenvolvimento do modelo de dados procurou-se garantir a implementação dos sistemas de codificação previstos na implementação da DQA, nomeadamente, os descritos no *WFD Guidance document n.º. 22 (European Commission, 2009d)*, bem como os conceitos e requisitos técnicos subjacentes ao relato da localização e classificação das entidades geográficas de relevância para a política da água portuguesa, materializada na Lei da água e respectivos diplomas complementares.

No caso específico das massas de água superficiais, é reconhecida uma necessidade fundamental em hidrologia e hidráulica que implica a representação das massas de água com recurso a redes geométricas, em que o fluxo do escoamento possa ser representado com a devida coerência topológica. Este facto é particularmente relevante para os estudos de dispersão de poluentes, para o cálculo de cenários de gestão ou para a avaliação do estado hidromorfológico, químico e ecológico das massas de águas. Para a descrição da rede geométrica foi utilizado o *INSPIRE Generic Conceptual Model* (INSPIRE, 2010a), no âmbito do qual se descreve o *Generic Network Model* (baseado em diversas normas ISO). Esta especificação contempla as noções de nós, arcos, agregação de arcos, e áreas. Esta especificação fornece os mecanismos básicos para a referência linear e pontual, inter-conexões de redes e topologia associada. Neste âmbito, o MDG foca-se nos seguintes aspectos:

- definições – descrição dos conceitos subjacentes ao universo de discurso considerado; as definições das classes de objectos, dos seus atributos e das associações que se estabelecem entre classes são registadas no modelo lógico, o que permite a sua incorporação automática no perfil de metadados considerado;
- hierarquia – descrição da hierarquia e associações de classes por intermédio de uma linguagem de notação própria; neste caso utilizaram-se estereótipos UML específicos para a criação de bases de dados geográficos;
- redes – massas de águas e outras classes de objectos são partes de uma rede para a qual é definida uma direcção de escoamento;
- identificadores – todos os objectos são caracterizados por um identificador único no âmbito da base de dados a implementar e por códigos textuais universais únicos; são

implementados sistemas de codificação próprios que garantem a extensibilidade do MDG a outros modelos de dados específicos, como o das aplicações de dados de monitorização (p.ex. a solução LabWay da Ambidata), do licenciamento ou outros modelos de dados específicos;

- tempo – os objectos possuem uma validade temporal (ciclo de vida) recorrendo a tipos de dados (*data types*) da norma ISO 19108;
- estruturação de dados – a partir do MDG podem ser gerados ficheiros que definem a estrutura que deve ser seguida na implementação da base de dados geográficos (BDG), bem como na partilha de informação, conhecidos como ficheiros de esquemas XML; os ficheiros candidatos que transportam dados devem ser validados com os esquemas XML de acordo com o modelo de dados definido;
- partilha de dados – os esquemas de XML e GML, tal como definidos na norma ISO 19136:2007 podem proporcionar a partilha de dados com independência da plataforma computacional.

Dado que se pretende que o modelo funcione como um suporte à informação legalmente referenciada para o exercício do planeamento e gestão de recursos hídricos, procurou-se que a totalidade dos termos e conceitos com valor legal (como por exemplo bacia hidrográfica ou zona de infiltração máxima), fossem reproduzidos no modelo. Para os tipos de objectos geográficos considerados no modelo de dados por questões de coerência e operacionalidade, ou para aqueles que não se encontram claramente definidos no âmbito da legislação aplicável, recorreu-se à definição científica considerada mais apropriada. As definições dos conceitos adoptadas no MDG seguiram a seguinte ordem de adopção:

- directivas europeias, indicadas na secção 3.2.1;
- diplomas legais nacionais, indicados na secção 3.2.2;
- dicionário de dados do WISE expressos nos *WISE XML schemas* (Lack *et al.*, 2009);
- dicionário de dados INSPIRE (*feature concept dictionary*) quando aplicável;
- dicionário de dados DFDD<sup>60</sup>, quando aplicável (DFDD, 2010);
- glossário internacional de hidrologia (UNESCO-OMM, 1992).

A filosofia seguida no âmbito da definição do modelo de dados privilegia um número mínimo de elementos (classes, propriedades, associações), em detrimento de um grande número de

---

<sup>60</sup> *DGIWG Feature Data Dictionary (DFDD): contém a descrição dos conceitos utilizados pelos estados membros da comunidade DGIWG, de forma a caracterizar aspectos de fenómenos do mundo real. É baseado no seu antecessor Feature and Attribute Coding Catalogue (FACC), uma componente do Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST). O DFDD é baseado na ISO 19126 e mantido segundo os princípios da ISO 19135.*

elementos que materializaria a ambição de descrever exhaustivamente o sistema ambiental que contém ou influencia o estado das massas de água superficiais. Cada classe de objectos possui um conjunto mínimo de atributos que se considerou de relevância para implementar as funcionalidades de identificação, caracterização, quantificação e classificação das massas de água e dos respectivos ecossistemas associados. A geometria dos objectos é definida com recurso ao modelo de dados vectorial, considerando três tipos de dados geográficos: ponto, linha, e polígono.

O modelo lógico não se aplica à representação e caracterização da rede de águas de abastecimento para consumo humano, da rede de águas residuais urbanas, ou de infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias que possam influenciar o escoamento superficial. No que respeita às infra-estruturas hidráulicas, apenas se desenvolveu suporte à sua codificação de identificação com o objectivo de contribuir para um sistema de codificação único ao nível de cada base de dados implementada. Ainda assim o modelo lógico pode ser extensível a estes tipos de caracterizações através do sistema de codificação adoptado. Não são consideradas operações de generalização sobre os conceitos modelados, pelo que a geometria definida no modelo lógico para cada tipo de entidades geográficas é imutável.

O modelo lógico pretendeu-se responder às seguintes questões:

- quais as principais entidades de recursos hídricos que marcam a paisagem e o seu estado ecológico e químico enquadradas pelos objectivos ambientais a atingir;
- como se move a água entre essas entidades;
- que tipos de medidas se preconizam para manter ou melhorar o estado das massas de água e as zonas protegidas que influenciam;
- quais as características dos programas de monitorização a aplicar às massas de água de forma a aferir o seu estado e a caracterizar as pressões de que são alvo.

Os principais objectivos do modelo lógico são os seguintes:

- fornecer o enquadramento para a aplicação de uma estrutura de dados e respectivos conteúdos;
- adoptar um conjunto comum de conceitos, definições e descrições;
- facilitar a partilha de informação entre organizações aos diversos níveis da administração (local, regional, nacional, supra-nacional, e europeia);
- promover a interoperabilidade entre os diversos produtores e manipuladores de informação geográfica aplicada ao planeamento e gestão de recursos hídricos;
- contribuir para a simplificação da generalização de informação a diversas escalas;
- facilitar e promover a produção de metadados;

- descrever uma estrutura de dados facilmente interpretável e de fácil utilização.

O exercício de identificação e caracterização dos tipos de entidades geográficas consideradas no modelo baseou-se quer em objectos reais associados ao universo de discurso, quer aos objectos sem uma expressão física evidente. De notar que a identificação e caracterização destas últimas resulta sobretudo da interpretação do quadro legal aplicável, nomeadamente, a LA e a DQA. Consideram-se assim como exemplo de objectos com evidente existência física: as diversas categorias de massas de água superficiais, as bacias e sub-bacias hidrográficas, as estações de monitorização, ou as captações de água para consumo humano. Como objectos sem uma expressão física evidente podem ser considerados os seguintes: perímetros de protecção, zonas inundáveis e a delimitação do domínio público hídrico. Descreve-se para cada diagrama de classes UML do modelo lógico:

- o suporte legal que lhe dá origem;
- as classes que o compõem e as suas propriedades (atributos);
- as associações entre classes;
- o suporte a funcionalidades de análise espacial.

### **Consistência entre representações no modelo de dados**

A produção de CDG com base no MDG é aplicável ao nível regional, podendo ser transformados para aplicação a nível nacional, supra-nacional e europeu. O MDG é aplicável a todos os níveis de detalhe, no entanto recomenda-se a sua aplicação a representações cartográficas a escalas entre 1:150.000 e 1:350.000.

Admite-se que possam coexistir representações topográficas baseadas em áreas (normalmente utilizadas em levantamentos a escalas grandes) e representações baseadas num certo nível de generalização, como é o caso da utilização das linhas de talvegue para a representação de massas de água.

Para qualquer destes níveis de detalhe deve ser mantida, quer a consistência lógica, quer a consistência posicional. A consistência lógica relaciona-se com a referência correcta aos identificadores e códigos das entidades geográficas referenciadas. A consistência posicional relaciona-se com a representação de uma mesma entidade geográfica com recurso a mais que uma geometria. É o caso das linhas de talvegue dos cursos de água e os limites do seu leito: as linhas de talvegue deverão estar representadas no interior das linhas de limite da margem direita e esquerda do curso de água referenciado.

### 3.5.3.1 Catálogo de entidades

O catálogo de entidades é interpretado como um documento onde se encontram listados, de acordo com a norma ISO 19110 (aplicada à descrição dos elementos definidos no modelo lógico de dados, nomeadamente a representação geográfica utilizada), todas as classes de entidades considerados no âmbito do universo de discurso declarado.

A norma ISO 19110 (*Methodology for feature cataloguing*, ou *Méthodologie de catalogage des entités*), justifica a existência de um catálogo de entidades com o seguinte parágrafo: “*Geographic features are real world phenomena associated with a location relative to the Earth, about which data are collected, maintained, and disseminated. Feature catalogues defining the types of features, their operations, attributes, and associations represented in geographic data are indispensable to turning the data into usable information. Such feature catalogues promote the dissemination, sharing, and use of geographic data through providing a better understanding of the content and meaning of the data. Unless suppliers and users of geographic data have a shared understanding of the kinds of real world phenomena represented by the data, users will be unable to judge whether the data supplied are fit for their purpose*”. Assim, entende-se que as características que devem constar no catálogo dizem respeito aos conceitos que suportam o universo de discurso definido.

O catálogo de entidades é definido no âmbito da INSPIRE (*INSPIRE Generic Conceptual Model*, 2010a) como “*o catálogo, ou catálogos, que contém as definições e descrições dos tipos de objectos espaciais (spatial object types), os seus atributos e componentes associadas, que ocorrem num, ou mais conjuntos de dados geográficos, em conjunto com quaisquer operações que lhes possam ser aplicadas*”. Esta definição resulta de uma adaptação da definição da norma ISO 19110 (*Feature Catalogue*). Este documento da INSPIRE possui duas recomendações:

1. os tipos de objectos espaciais presentes num esquema de aplicação INSPIRE devem ser representados num catálogo de entidades;
2. todos os catálogos de entidades devem conter a informação especificada no esquema de aplicação da norma ISO 19110.

Está previsto ser desenvolvido um registo de catálogos de entidades INSPIRE em conformidade com o estabelecido pela norma ISO 19135 (*Procedures for item registration*). Está também prevista uma alteração à norma ISO 19110 que disponibilizará um esquema XML para catálogos de entidades, a partir do qual será possível codificar os seus elementos.

Ao contrário da norma ISO 19110, que admite que existam diversos esquemas de aplicação para um mesmo dicionário de dados normalizado, a INSPIRE adopta uma abordagem em que tanto os esquemas de aplicação, como os respectivos catálogos de entidades estão consolidados num único modelo de dados UML. Se o mesmo conceito de tipo de objecto espacial for utilizado diversas vezes com um padrão de propriedades idêntico, está previsto ser criada uma super-

classe abstracta para implementar o padrão de propriedades comuns, ao invés de o redefinir. Também a INSPIRE regista os termos e conceitos utilizados nos catálogos de entidades dos diversos temas do anexo I, II, e III, num dicionário de conceitos de entidades (*INSPIRE Feature Concept Dictionary Register*).

Assim o principal objectivo do catálogo de entidades da INSPIRE é fornecer uma representação bem definida dos tipos de objectos espaciais representados em esquemas de aplicação INSPIRE, e que possa ser interpretável tanto por máquinas como por humanos (através de representação gráfica e textual do código), bem como acessível e pesquisável na Internet.

O catálogo de entidades foi considerado, no contexto do trabalho realizado, como o registo onde se encontram descritos todos os elementos que compõem o modelo de dados. Entenda-se por elementos do modelo de dados as classes, atributos, tipos de dados, listas codificadas de valores, associações, marcas de valor e metadados. Elementos como as regras topológicas, sistemas de referência geográfica e simbologia foram declarados fora do MDG, pela razão de que a linguagem UML, e em particular o perfil UML utilizado, não suportam a declaração deste tipo de elementos. A Figura 12 ilustra o processo de criação do catálogo de entidades a partir do ficheiro XMI e XML Schema.

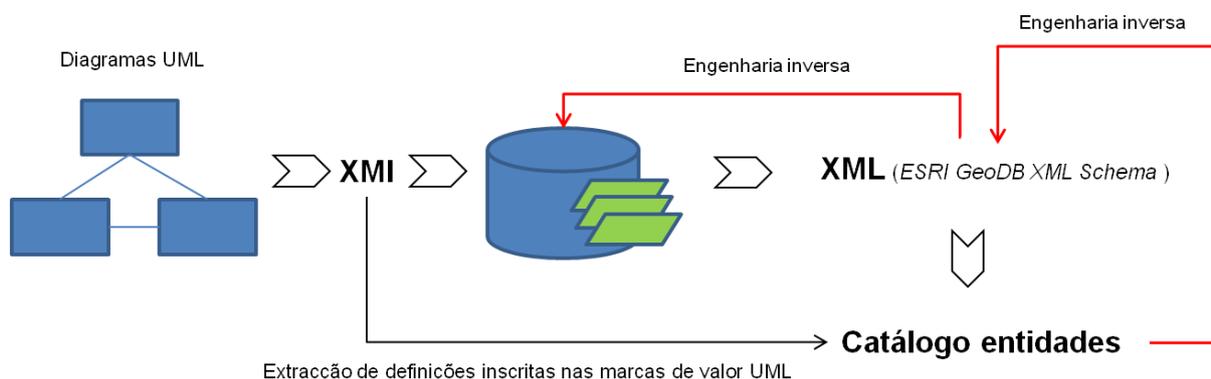


Figura 12. Esquema de geração do catálogo de entidades e engenharia inversa até ao modelo físico de dados

O catálogo de entidades do MDG desenvolvido foi produzido a partir do modelo de dados lógico (esquema de aplicação) tendo por base o ficheiro XML que é gerado a partir dos diagramas de classes UML do modelo lógico, agregando toda a informação respeitante ao modelo de dados desenvolvido.

A metodologia e tecnologia utilizadas permitem gerar o catálogo de entidades em formatos como: HTML, MS Excel, PDF, ou SVG<sup>61</sup>. Esta metodologia além de permitir uma geração automática do catálogo de entidades, permite também actualizá-lo de uma forma eficaz, dado que possibilita uma

<sup>61</sup> Simple Vector Graphics

engenharia inversa, embora não total até aos diagramas de classes UML. Isto é, permite uma engenharia inversa até ao modelo físico de dados, mas não até ao modelo lógico de dados.

Assume-se a não afectação a escala específica de representação das classes geográficas; no entanto é estabelecido o intervalo entre a escala 1:10.000 e 1: 250.000 (maior escala de relato ao WISE). Utilizou-se o mecanismo de pacote (*package*) para fins gerais de organização dos elementos do modelo de dados em grupos<sup>62</sup>. A identificação e descrição desses elementos constam do catálogo de entidades, apresentado em CD-Rom anexo. O catálogo de entidades foi utilizado na preparação da informação para carregamento da base de dados cujo processo é descrito sessão 5.5.1.

### 3.5.4 Modelo físico

O modelo físico é materializado na estrutura de dados geográficos implementada num sistema de gestão de bases de dados (SGBD) e constitui-se como a implementação do esquema de aplicação, resultante da modelação lógica, onde se incluem todos os procedimentos de ajuste às soluções tecnológicas adoptadas, nomeadamente aspectos de segurança, desempenho, e optimização de esquemas de bases de dados.

Por definição, o modelo físico de dados está associado à implementação de um modelo lógico num determinado SGBD, sendo que apresenta aspectos específicos do tipo de plataforma tecnológica adoptada para o fazer. No contexto do trabalho desenvolvido interpreta-se como modelo físico os próprios dados implementados num dos SGBD relacional, em que é possível implementar o modelo lógico desenvolvido.

A implementação do esquema de aplicação do MDG desenvolvido foi efectuada considerando as seguintes etapas:

1. conversão do esquema de aplicação declarado em UML para XML (XMI);
2. verificação da coerência semântica e funcional do código XML gerado;
3. implementação do esquema de aplicação sobre o SGBD, com a geração do modelo físico de dados;
4. incorporação de conteúdos de metadados de acordo com a norma ISO 19115;
5. definição e implementação do sistema de referência geográfica adoptado;
6. descrição e implementação das regras topológicas aplicáveis;
7. descrição e implementação da simbologia de apresentação;
8. carregamento de informação e gestão de códigos identificadores, restrições e índices.

---

<sup>62</sup> *Jornal oficial da União Europeia. Regulamento (UE) n.º 1089/2010 da Comissão, de 23 de Novembro de 2010 que estabelece as disposições de execução da Directiva 2007/2/CE de Parlamento Europeu e do Conselho relativamente à interoperabilidade dos conjuntos e serviços de dados geográficos.*

Salienta-se que as operações definidas nas classes UML não são em geral mapeadas na estrutura relacional, podendo no entanto, ser mapeadas para *stored procedures*, guardados e executados no contexto do sistema de gestão de base de dados utilizado (Silva e Paton, 2001).

### 3.6 Modelação centrada em objectos

A utilização do paradigma da modelação centrada em objectos permitiu no desenvolvimento do MDG incorporar os conceitos de objecto, classe, relações (de associação, generalização e de dependência), polimorfismo, herança e encapsulamento.

O objecto, similar ao conceito de entidade (*feature*) no modelo relacional, é caracterizado por um conjunto de atributos e métodos (funções) que definem o seu comportamento ou associação com outros objectos, bem como por um conjunto de mensagens que respondem ao exterior em função da sua “utilidade” (Booch *et al.*, 2007). Os objectos não utilizam chaves primárias ou estrangeiras, sendo estas declaradas ao nível das associações entre classes.

A classe representa um conjunto de objectos com as mesmas características. Uma classe define o comportamento dos objectos através de procedimentos (métodos) e consequentemente os estados que esses objectos são passíveis de assumir através dos valores dos seus atributos.

O polimorfismo é o princípio pelo qual duas ou mais classes derivadas de uma mesma super-classe (classe do tipo abstracto) pode invocar métodos que têm a mesma identificação (assinatura) mas comportamentos distintos, especializados para cada classe derivada.

Herança é um mecanismo que permite que a uma classe herdar as propriedades (atributos e métodos) da classe superior, acrescido dos restantes atributos e métodos característicos e definidores da sua própria classe. A noção de herança é enriquecida com o facto de uma classe poder pertencer a mais de uma super-classe, verificando-se neste caso uma herança múltipla, diferenciando-se esta da herança simples antes descrita. A herança múltipla introduz uma diminuição da redundância na definição das propriedades dos objectos, em prejuízo de uma maior simplicidade do sistema. A hierarquia assim definida está relacionada com os conceitos de generalização (no sentido do topo da estrutura - ascensão na hierarquia), e especialização quando em direcção à base (descida na hierarquia).

O encapsulamento consiste na propriedade de reservar certas características dos objectos permitindo que estes possam ser geridos separadamente. Normalmente os detalhes da implementação das classes e objectos estão reservados.

Assume-se a implementação do MDG num sistema de gestão de base de dados objecto-relacional (SGBD-OR) como forma de ultrapassar as deficiências dos sistemas relacionais no armazenamento de objectos de maior complexidade (com resposta a diversos métodos e funções) e com o objectivo de melhorar o desempenho nas inquirições sobre objectos geográficos. Este tipo de sistemas caracteriza-se por um SGBD relacional com manuseamento interno efectuado por

uma programação centrada em objectos, nomeadamente dos conceitos anteriormente descritos como meio de gestão dos objectos registados.

### 3.6.1 Associações entre classes

As associações utilizadas na modelação de dados sob o paradigma de programação centrada em objectos possuem diversas propriedades que permitiram definir como os objectos se relacionam. A designação da associação foi atribuída de forma a facilitar a sua interpretação, normalmente possui o nome da classe de origem e o nome da classe de destino separadas por termos como: “\_Tem\_”, “\_TemNM\_”, “\_Integram\_”; “\_Sao\_”, “\_Contem\_”. O termo “\_TemNM\_” foi utilizado para referenciar associações cujas classes foram utilizadas para desmultiplicar associações de muitos para muitos (N-M). A noção de classe de origem e destino foi assumida no desenvolvimento do MDG com o objectivo de implementar mecanismos de integridade.

As associações declaradas no modelo lógico são de dois tipos: simples ou compostas. As associações simples permitem associar objectos que podem existir independentemente uns dos outros. Por exemplo, uma massa de água rio pode conter uma ou mais estações de monitorização associadas, no entanto a massa de água rio pode existir sem estações de monitorização associadas. Numa associação do tipo simples entre classes de objectos, o objecto de origem pode ser eliminado sem que os objectos de destino o sejam. Neste caso, os objectos associados na classe de destino passam a conter um valor nulo no atributo correspondente à chave estrangeira (declarada através da associação entre classes), tal como é ilustrado na Figura 13.

A eliminação de um objecto da classe de destino não tem qualquer efeito no valor da chave primária na classe de origem. A Figura 13 ilustra o método evocado pela eliminação de um objecto na classe de origem e as suas repercussões nos objectos correspondentes na classe de destino. Eliminar o objecto correspondente à bacia hidrográfica (na classe de origem) implica atribuição de valores nulos aos objectos de sub-bacias hidrográficas correspondentes (na classe de destino).

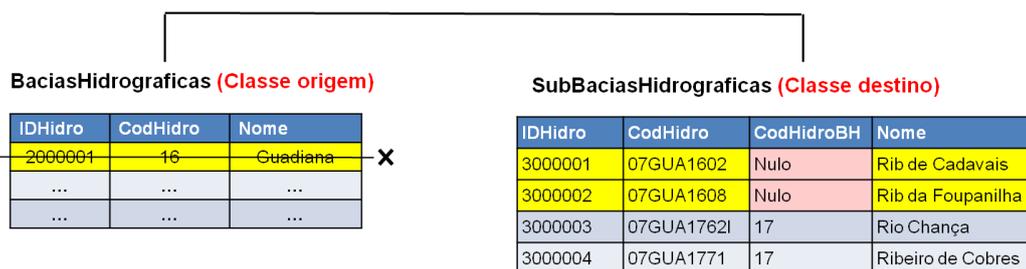


Figura 13. Representação de uma associação do tipo simples entre classes de objectos.

Na declaração de associações a definição de classes de origem e destino é crítica. Uma definição errada das classes de origem e destino provocaria erros de integridade nos dados.

As associações do tipo composto implicam a eliminação dos objectos associados na classe de destino, tal como ilustra a Figura 14.

BaciasHidrograficas (Classe origem)			SubBaciasHidrograficas (Classe destino)			
IDHidro	CodHidro	Nome	IDHidro	CodHidro	CodHidroBH	Nome
2000001	16	Guadiana	3000001	07GUA1602	16	Rib de Cadavais
...	...	...	3000002	07GUA1600	16	Rib da Foupanilha
...	...	...	3000003	07GUA1762I	17	Rio Chança
...	...	...	3000004	07GUA1771	17	Ribeiro de Cobres

Figura 14. Representação de uma associação do tipo composto. Eliminar o objecto de bacia hidrográfica implica eliminação dos objectos associados na classe de destino

A Figura 15 expõe a declaração da associação entre as classes referentes a bacias hidrográficas e sub-bacias hidrográficas, bem como as suas propriedades.

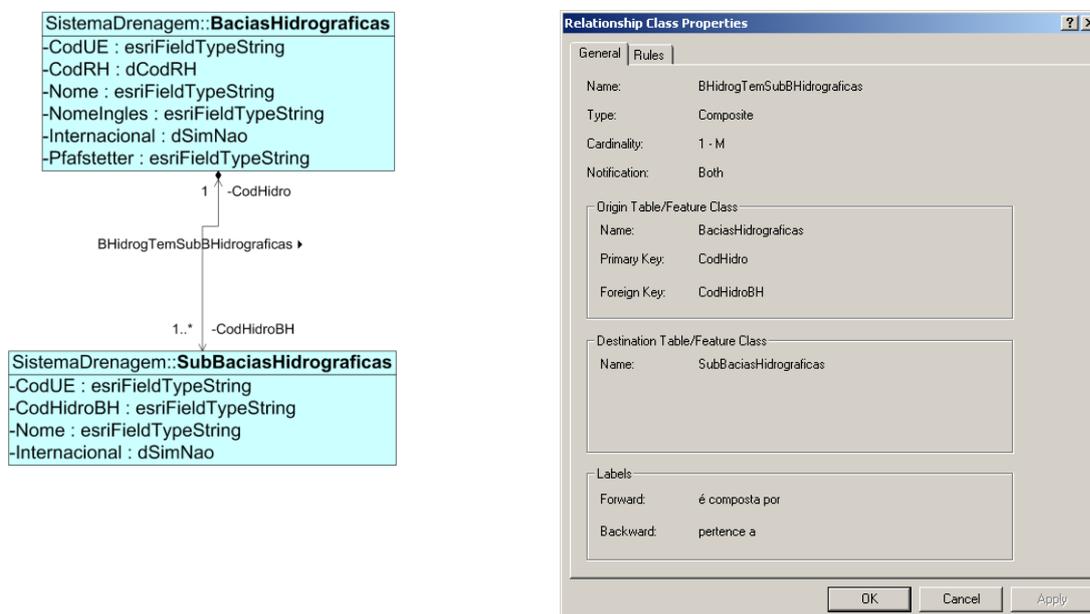


Figura 15. Propriedades da associação entre bacias hidrográficas e sub-bacias hidrográficas. À esquerda a representação da associação em UML; à direita as suas propriedades

A definição de chaves primárias e estrangeiras são também uma componente essencial na definição das associações. Uma das opções na definição de uma chave primária é utilizar o atributo que identifica univocamente o objecto (*object identifier, OID*). No entanto, existem operações sobre os dados que podem desvirtualizar o conceito de chave primária, como por exemplo dividir uma linha. Com esta divisão a geometria é actualizada e, conseqüentemente, copiados os valores dos atributos, incluindo os de chave primária. Esta operação manterá no entanto a integridade dos objectos associados uma vez que não altera o valor da chave primária, tal como ilustra a Figura 16. Como a atribuição do valor de *object identifier (OID)* está normalmente encapsulado, optou-se por gerir os valores de chave primária com atributos definidos especificamente para este fim, identificados na figura pelo atributo *ID\_PK*. Uma operação de

junção de objectos resultaria na atribuição de um dos valores de OID e na manutenção do valor de *ID\_PK*.

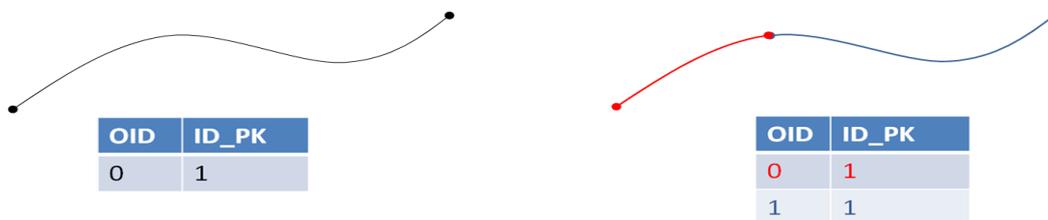


Figura 16. Atribuição de valores identificadores de chave primária em operações de edição de objectos geográficos

A cardinalidade<sup>63</sup> foi utilizada para especificar o número de objectos que na classe de origem se relacionam com os objectos na classe de destino. As associações assumiram uma das duas cardinalidades: um para um (1-1), ou um para muitos (1-N). Na realidade, a noção de um para muitos corresponde também à cardinalidade zero para muitos. As associações de cardinalidade muitos para muitos (N-M) foram decompostas em associações 1-N através de uma classe de desmultiplicação, onde são registados os valores das chaves das classes associadas.

A declaração da cardinalidade das associações foi refinada através de regras com o objectivo de reforçar a integridade dos dados, nomeadamente através da especificação do número de objectos da classe de origem que podem relacionar-se com os objectos da classe de destino. Por exemplo, uma massa de água interior tem de estar associada a uma sub-bacia hidrográfica, ou que a massa de água possa conter um número máximo de captações. No caso dos subtipos é possível restringir o número e subtipos de objectos na classe de origem que se podem relacionar com um certo subtipo de objectos da classe de destino.

Quando na presença de associações simples ou compostas podem existir acções despoletadas através de actualização de certos objectos. Um exemplo destas acções é o caso de numa associação composta a eliminação do objecto de origem implicar a eliminação de todos os objectos de destino associados. Além desta as seguintes acções podem ser definidas:

- mover ou rodar um objecto implicar que os objectos associados movam ou rodem em conformidade;
- actualizar um objecto implicar que um atributo específico de um objecto associado possa ser actualizado automaticamente;
- actualizar um objecto na classe de origem implicar que os objectos na classe de destino sejam actualizados;

<sup>63</sup> No âmbito da modelação de dados a cardinalidade constitui uma expressão do número de ocorrências entre objectos de classes associadas.

- actualizar um objecto na classe de destino implicar que os objectos na classe de origem sejam actualizados.

### 3.6.2 Identificação e codificação de objectos

A classe base que suporta a identificação e codificação de todas as classes presentes no modelo de dados é a classe abstracta *ObjectosHidro*. Esta classe estabelece os atributos nos quais se baseia a identificação de objectos referenciados na base de dados geográficos. A classe está representada na Figura 17.

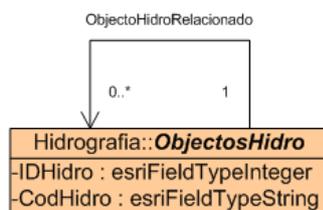


Figura 17. Classe de base para identificação, codificação e relacionamento de objectos

O atributo *IDHidro* regista valores do tipo inteiros positivos e é utilizado como identificador único no âmbito da base de dados geográficos. O que implica que, a existir uma base de dados geográficos por cada bacia hidrográfica de uma mesma região hidrográfica, estes valores podem repetir-se. No caso de se integrarem nas bases dados com o objectivo de formar um único repositório, os valores do atributo *IDHidro* devem ser recalculados de forma a manterem-se únicos no âmbito do repositório de dados geográficos formado a partir dessa união.

O atributo *CodHidro* regista valores textuais que são interpretados como os códigos públicos nacionais que identificam univocamente cada entidade representada de forma permanente. Este critério é utilizado pelo WISE para referenciar objectos e manter sobre eles um histórico. Supõe-se que estes códigos sejam geridos pela autoridade competente para o planeamento e gestão de recursos hídricos da região hidrográfica referenciada.

Os atributos *IDHidro* e *CodHidro* constituem assim os atributos base para a identificação de todos os objectos a registar na base de dados geográficos. Existem no MDG outros atributos que referenciam estes, como é o caso do identificador de uma área de drenagem *IDDrenagem* (bacia hidrográfica ou sub-bacia hidrográfica). O atributo *IDDrenagem* de um ponto de concentração de uma bacia hidrográfica relaciona-se com o atributo *IDHidro* dessa bacia hidrográfica assumindo estes atributos o mesmo identificador numérico. Outros casos existem que reflectem este tipo de associações.

Detalha-se na sessão 5.3 o método adoptado para a gestão do sistema de códigos identificadores.

### 3.7 WISE (*Water Information System for Europe*)

No âmbito da implementação da DQA a Comissão Europeia promoveu o desenvolvimento do sistema europeu de informação sobre recursos hídricos (WISE). O WISE foi desenvolvido com o objectivo de armazenar e disponibilizar informação sobre a delimitação das massas de água e a sua condição de estado, bem como sobre as acções de monitorização, acções de planeamento e medidas de gestão de recursos hídricos em cada EM.

A estratégia de conceber o WISE com um modelo de dados para a análise estatística e para fins de visualização e exploração de informação agregada justifica-se no âmbito da Comissão Europeia; no entanto, é demasiado simplista e limitado quando se pretende basear, sobre esse modelo de dados, processos de análise espacial com o objectivo de uma gestão integrada da água a nível regional. Neste sentido justifica-se que se vá para além de uma implementação directa do modelo de dados europeu quando se pretende modelar uma estrutura de dados para aplicação regional, repercutindo-se este facto em todo o processo de modelação de dados: desde o seu universo de discurso até à implementação do modelo de dados geográficos.

Apesar da necessidade evidente de desenvolver um modelo de dados que consagre distintos requisitos funcionais para além daqueles previstos no WISE, não se pretendeu com este trabalho redefinir os conceitos sugeridos pela DQA e já amplamente transpostos para a gíria da gestão das águas portuguesa. Pelo contrário, foi desenvolvido um esforço em manter e justificar amplamente as opções de desenho tomadas e quanto às funcionalidades incorporadas.

Os processos de relato de informação, sobre a legislação europeia aplicável ao planeamento e gestão de recursos hídricos, caracterizam-se pela sua evolução ao longo dos últimos 30 anos, durante os quais se aplicaram diversos métodos de relato pelos EM, diferentes formatos de dados, e variadíssimas estruturas para essa informação. A DQA, veio implementar novos procedimentos de relato, sobretudo electrónicos com verificação de coerência e consistência automatizada. Desde 2003 que têm vindo a ser definidos diversos documentos técnicos que apoiam os EM na preparação dessa informação, nomeadamente os respeitantes ao cumprimento do artigo 3.º (2004); artigo 5.º (2005); artigo 8.º (2007); e mais recentemente relativamente ao artigo 13.º (2010), este último referente aos PGRH. No âmbito do relato sobre o artigo 13.º da DQA é solicitado aos EM que produzam dez ficheiros XML de acordo com os meta-documentos (esquemas XML) disponibilizados<sup>64</sup> (Atkins, 2009a). De salientar que estes ficheiros XML relatam apenas informação alfanumérica, embora pontualmente possuam referências geográficas através do registo de coordenadas latitude/longitude (ETRS89) de centróides geográficos. Os ficheiros a produzir para relato do artigo 13.º estão representados na Figura 18.

---

<sup>64</sup> <http://icm.eionet.europa.eu/schemas/dir200060ec/resources>



- **Transitional\_water\_bodies\_ETRS89** (EU\_CD\_TW);
- **Groundwater\_water\_bodies\_ETRS89** (EU\_CD\_GW; Horizon);
- **Protected\_areas** (EU\_CD\_PA; PA\_Type).

O formato GML (*Geography Markup Language*) é referido como alternativa de formato futuro, sendo sugerido como o formato a adoptar na implementação de serviços de dados geográficos, a publicar pelas autoridades competentes (esses serviços não estão ainda definidos). Os critérios de preparação e submissão de informação geográfica, bem como o perfil de metadados a utilizar, estão descritos em Atkins (2009a). O documento descritivo do perfil de metadados a utilizar no WISE está descrito no anexo 11 do documento-guia n.º 22 (European Commission, 2009f). O MDG desenvolvido no âmbito dos trabalhos de tese pretende exactamente agilizar os processos de transformação de dados e a partilha de toda a informação referida, nas quais se inclui a produção dos ficheiros XML e a informação geográfica referenciada pelos *templates* disponibilizados em ESRI *shapefiles*. A informação respeitante aos artigos da DQA, sob os quais é necessário o envio de informação geográfica, está descrita nos seguintes URL:

- artigo 3.º (definição da abrangência geográfica de regiões hidrográficas e correspondentes autoridades competentes): <http://rod.eionet.europa.eu/obligations/525>;
- artigo 5.º (caracterização de regiões hidrográficas, actividade humana, análise económica, e zonas protegidas): <http://rod.eionet.europa.eu/obligations/136>;
- artigo 8.º (programas de monitorização): <http://rod.eionet.europa.eu/obligations/520>;
- artigo 13.º (planos de gestão de região hidrográfica, incluindo programas de medidas): <http://rod.eionet.europa.eu/obligations/525>.

A implementação da DQA é apoiada por 24 documentos-guia técnicos e 8 documentos de descrição de estratégias temáticas. Estes documentos são de livre acesso na plataforma CIRCA<sup>66</sup>.

É apresentado na secção 5.11 um exemplo de extracção, transformação e carregamento de dados com origem no modelo de dados geográficos desenvolvido e o sistema WISE.

---

<sup>66</sup>[http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/guidance\\_documents&vm=detailed&sb=Title](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents&vm=detailed&sb=Title)



## 4 MODELO LÓGICO DE DADOS GEOGRÁFICOS

### 4.1 Estruturação do modelo lógico

O modelo lógico de dados geográficos é composto por 19 pacotes UML que agrupam 42 diagramas de classes. Descrevem-se em detalhe os pacotes UML correspondentes a:

- unidades de gestão (secção 4.3);
- hidrografia (secção 4.4);
- programas de monitorização e avaliação do estado das massas de água (secção 4.5);
- séries temporais (secção 4.6);
- programas de medidas (secção 4.7);
- rede hidrográfica (secção 4.8);
- objectos superficiais (secção 4.9).

Além dos supracitados, o modelo lógico contém ainda os seguintes pacotes UML:

- domínios de dados (listas codificadas e intervalos de valores);
- nível do cumprimento da legislação aplicável a recursos hídricos;
- sistema de drenagem superficial;
- ocupações e construções em domínio hídrico;
- objectos PGRH (tabelas descritivas sobre a elaboração e implementação dos planos);
- ordenamento do território;
- elementos de hidráulica fluvial (perfis longitudinais e secções transversais);
- pressões antropogénicas;
- análise de riscos;
- programas de medidas;
- caracterização e análise de riscos;
- zonas protegidas.

O pacote UML respeitante aos domínios de dados agrupa todas as listas codificadas e intervalos de valores utilizados no MDG. As listas codificadas definem o universo de valores inteiros ou decimais admissíveis, não permitindo a escolha múltipla dentro da mesma lista (o valor de cada atributo é único). Os intervalos de valores limitam os valores inteiros ou reais passíveis de registar relativamente aos atributos que lhes estão afectos (p.e. para um valor de pH apenas são permitidos valores de 1 a 14). Optou-se por não descrever em detalhe este pacote UML, na medida em que é entendido como um pacote UML de suporte e, por conseguinte, não estruturante.

Os restantes pacotes UML, suportam um ou mais diagramas de classes UML onde se descrevem os conceitos que os compõem. Os elementos do MDG que tenham a sua origem em exigências do WISE estão devidamente evidenciados e justificados. Salienta-se que os aspectos referentes aos sistemas de referência geográfica e temporal, simbologia e relações topológicas não são definidos ao nível dos diagramas de classes UML.

## 4.2 Casos de uso do modelo lógico

Os elementos considerados no modelo lógico procuram dar cumprimento a um entendimento comum da realidade, cumprindo quatro casos de uso principais: i) produção cartográfica (*mapping*); ii) de análise espacial e modelação hidrológica e hidráulica (*spatial analysis and modelling*); iii) de relato à comissão europeia (*reporting*); e iv) suporte aos produtos das acções planeamento. Os pacotes UML do modelo lógico estão associados aos casos de uso referidos. A Figura 19 ilustra essa associação.

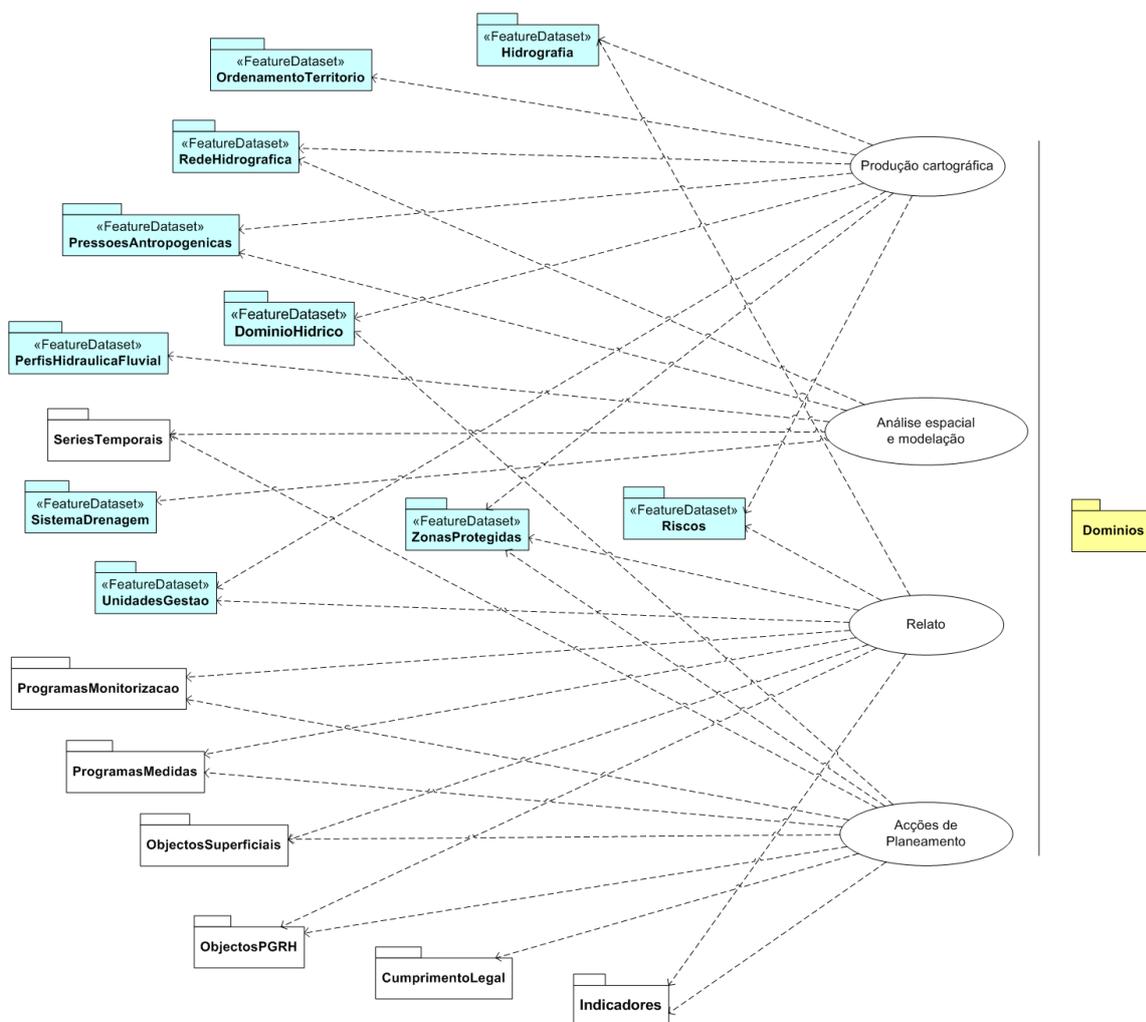


Figura 19. Representação dos casos de uso do MDG

Para propósitos de produção de representações cartográficas inclui-se a representação dos objectos físicos naturais e artificiais. Para efeitos de análise espacial e modelação foram considerados tipos de entidades com coerência topológica, como a rede hidrográfica e secções transversais e longitudinais das massas de água representadas. Para fins de relato no âmbito das diversas directivas europeias aplicáveis foram incluídos aspectos de qualidade ecológica e química, bem como considerados os respectivos sistemas de codificação definidos nos documentos técnicos de suporte à implementação da DQA. Cumprindo estes propósitos garante-se inerentemente o objectivo de organização da informação na qual se podem basear os instrumentos de planeamento e gestão das águas.

Cada um destes pacotes UML suporta um ou mais diagramas de classes UML onde se descrevem as classes, atributos, tipos de dados e associações. Dado que se publica o dicionário de dados e o catálogo de entidades como anexos da dissertação, não se descreve em detalhe todos os aspectos relativos aos desenhos do modelo lógico. Optou-se assim por relatar os conceitos e funcionalidades que as classes suportam em detrimento de uma abordagem de descrição exhaustiva sobre os diagramas de classes UML desenvolvidos.

Por razões de organização da dissertação optou-se por descrever em detalhe apenas 6 dos 33 diagramas de classes UML que compõem o modelo lógico de dados, e remeter para o CD-ROM anexo os seguintes produtos:

- os diagramas de classes UML;
- o dicionário de dados integrado no catálogo de entidades;
- o ficheiro XML resultante da compilação dos diagramas de classes UML (*XML Workspace Document*);
- a base de dados geográficos com regras topológicas, sistemas de referência geográfica horizontal e vertical e metadados;
- os elementos de simbologia.

Por razões de complexidade de alguns dos diagramas de classes UML e limitação do formato A4 em que é impressa a dissertação de tese, pode haver dificuldade de interpretação das figuras correspondentes. Sugere-se o recurso aos diagramas disponibilizados em CD-Rom anexo.

### **4.3 Pacote UML relativo a unidades de gestão de recursos hídricos**

O pacote UML referente às unidades de gestão de recursos hídricos agrupa os diagramas UML onde se declaram as classes de base para referência das acções de gestão. Contém dois diagramas de classes UML: o diagrama de classes *UnidadesGestao* e o de *LimitesMaritimos*. A razão pela qual os dois diagramas se encontram agrupados no mesmo pacote UML deve-se ao facto de as classes de cada um dos diagramas se relacionarem entre si, possibilitando desta forma que, na tecnologia de suporte à implementação usada, sejam declaradas as regras

topológicas adequadas, nomeadamente aquelas que relacionam as linhas de base marítimas com a delimitação dos limites de região hidrográfica.

As classes *RegioesHidrograficas*, *AutoridadesCompetentes*, *SubUnidades* e *BaciasHidrograficas* relacionam-se também com diversas classes do modelo de dados, no sentido em que os seus códigos de identificação nacionais permanentes (*CodHidro*) são utilizados para as referenciar. Estas associações são suportadas pelos atributos correspondentes.

### 4.3.1 Diagrama de classes de unidades de gestão

O diagrama de classes *UnidadesGestao* está integrado no pacote UML relativo a unidades de gestão e contempla o registo das entidades geográficas que servem de base aos actos de planeamento e gestão de recursos hídricos. O diagrama de classes UML está representado na Figura 20. De acordo com o preconizado no WISE, foram contempladas as classes:

- *RegioesHidrograficas*;
- *AutoridadesCompetentes*;
- *SubUnidades*;
- *LimitesJuridicao*.

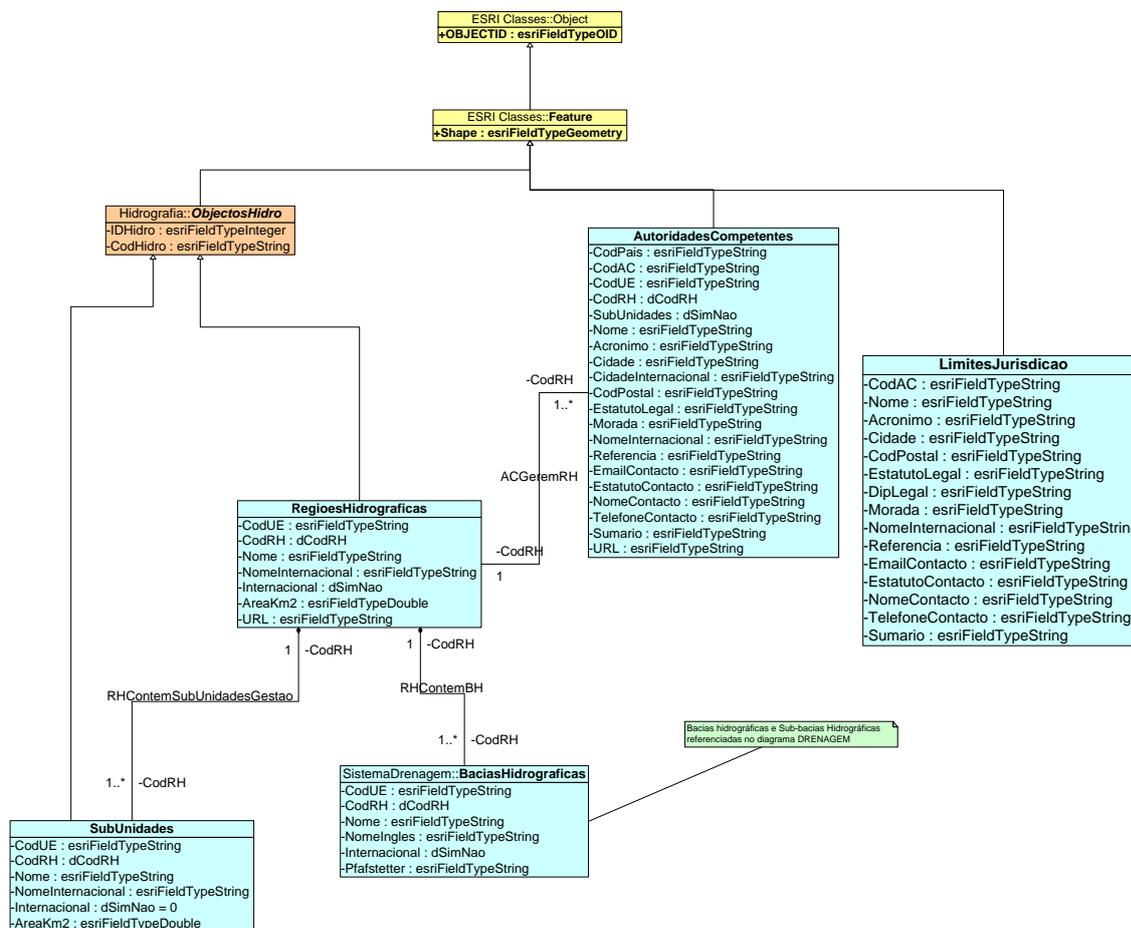


Figura 20. Diagrama de classes referente à administração de recursos hídricos

Salienta-se que a classe *BaciasHidrograficas* e a classe *SubBaciasHidrograficas* estão presentes no modelo apenas para evidenciar a associação de agregação que estabelecem com a classe *RegioesHidrograficas*. A classe *BaciasHidrograficas* está declarada no pacote UML *Drenagem*, tal como indica a sua designação (*Drenagem::BaciasHidrograficas*).

### A. Classe de região hidrográfica

A delimitação das regiões hidrográficas é definida no Decreto-Lei 347/2007 de 19 de Outubro, no qual se disponibiliza o mapa dos seus limites e a descrição dessa delimitação. Neste diploma estabelece-se que as regiões hidrográficas são delimitadas por uma linha de referência localizada à distância de 1 milha náutica, na direcção do mar, dos pontos mais próximos da linha de base a partir da qual são delimitadas as águas territoriais (linha de base recta). Dando cabimento à descrição da delimitação das regiões hidrográficas, fez sentido considerar no MDG os limites de águas marítimas, na medida em que a delimitação das regiões hidrográficas depende da própria definição do regime jurídico do mar territorial, onde se incluem as definições das linhas de base. Foi definida a respectiva classe *RegioesHidrograficas* de acordo com o ilustrado na Figura 21.

Simple feature class		Geometry Polygon		Contains M values No		Contains Z values No	
RegioesHidrograficas							
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length
Shape	Geometry	Yes					
OBJECTID	Object ID						
IDHidro	Long integer	No			0		
CodHidro	String	Yes					40
CodUE	String	Yes					42
CodRH	Long integer	Yes		dCodRH	0		
Nome	String	Yes					100
NomeInternacional	String	Yes					100
Internacional	Long integer	Yes		dSimNao	0		
AreaKm2	Double	Yes			0	0	
URL	String	Yes					500
Shape_Length	Double	Yes			0	0	
Shape_Area	Double	Yes			0	0	

Figura 21. Propriedades da classe RegioesHidrograficas

Cada região hidrográfica possui um código que, neste caso, coincide com a própria numeração aplicada legalmente a cada região hidrográfica. No âmbito da implementação da DQA, as regiões hidrográficas são denominadas de *River Basin Districts* ou simplesmente *Districts*. A classe *RegioesHidrograficas* relaciona-se com a classe *BaciasHidrográficas* e *SubBaciasHidrograficas*, na medida em que uma região hidrográfica será composta por uma ou mais bacias hidrográficas, sendo estas, por sua vez, compostas por diversas sub-bacias hidrográficas.

### B. Classe de autoridades competentes

O Decreto-Lei n.º 208/2007, de 29 de Maio, definiu a missão e as atribuições das Administrações de Região Hidrográfica (ARH), definindo que a estas entidades, denominadas também por autoridades competentes, caberia “a missão de proteger e valorizar as componentes ambientais das águas, bem como proceder à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito das

respectivas circunscrições territoriais de actuação”. A Portaria n.º 394/2008, de 5 de Junho, estabeleceu, no desenvolvimento daquele diploma, a estrutura e organização interna de cada uma das ARH. As ARH são extintas, sendo objecto de fusão e as suas atribuições integradas na Agência Portuguesa do Ambiente (APA), I. P., pelo Decreto-Lei n.º 7/2012, de 17 de Janeiro, que aprova a orgânica do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. O Decreto-Lei n.º 208/2007 é posteriormente revogado pelo Decreto-Lei n.º 56/2012, de 12 de Março, que aprova a orgânica da APA, I. P. e entrou em vigor no 1.º dia do mês seguinte ao da sua publicação. O artigo 2.º, n.º 3 deste diploma refere que “Para a prossecução das atribuições da APA, I. P., enquanto autoridade nacional da água, funcionam, a nível regional, serviços desconcentrados, cuja circunscrição territorial é definida nos estatutos da APA, I. P., sendo dirigidos por administradores regionais cargos de direcção intermédia de 1.º grau.”. As propriedades da classe estão ilustradas na Figura 22.

Simple feature class						Geometry	Point
AutoridadesCompetentes						Contains M values	No
						Contains Z values	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
Shape	Geometry	Yes					
CodPais	String	No					40
CodAC	String	No					40
CodUE	String	Yes					42
CodRH	Long integer	No		dCodRH	0		
SubUnidades	Long integer	Yes		dSimNao	0		
Nome	String	Yes					40
Acronimo	String	Yes					40
Cidade	String	No					100
CidadeInternacional	String	No					100
CodPostal	String	No					100
EstatutoLegal	String	No					1000
Morada	String	No					100
NomeInternacional	String	No					100
Referencia	String	No					1000
EmailContacto	String	No					100
EstatutoContacto	String	No					100
NomeContacto	String	No					100
TelefoneContacto	String	No					100
Sumario	String	Yes					1000
URL	String	Yes					250

Figura 22. Propriedades da classe AutoridadesCompetentes

O atributo *SubUnidades* serve para distinguir as autoridades competentes que são delegações sub-regionais. No caso do registo da delegação sub-regional, este atributo assume a designação “Sim”, correspondendo-lhe o carácter numérico “1”. O atributo tem assim como valores permitidos “0” e “1”, a que correspondem respectivamente as designações “Não” e “Sim”.

### C. Classe de sub-unidades

A classe referente a sub-unidades de gestão é utilizada para representar as delegações da autoridade regional competente (administração de região hidrográfica), no entanto, não se encontra previsto nas leis orgânicas das autoridades competentes que as suas delegações assumam um papel de gestão autónoma de recursos hídricos, não podendo desta forma ser interpretadas como unidades de gestão com personalidade jurídica própria.

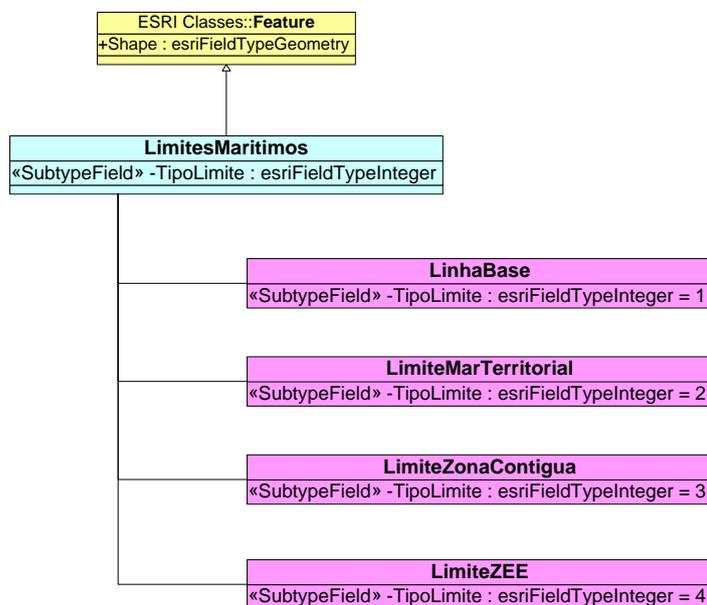
#### D. Classe de limites de jurisdição

A classe identifica os limites geográficos das jurisdições associadas às organizações com responsabilidade na gestão do território, nomeadamente: APA, Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, organismos que prosseguem as atribuições do extinto Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, capitánias das áreas portuárias, entre outras.

#### 4.3.2 Diagrama de classes de limites das águas marítimas

A Convenção das Nações Unidas sobre o direito do mar, ratificada em 1997 pela Assembleia da República (Diário da República n.º 238/97, Série I-A, 1.º Suplemento de 14 de Outubro de 1997) define, no seu artigo 5º, a linha de base normal, e no artigo 7º, a linha de base. A linha de base normal consiste na “linha considerada para medir a largura do mar territorial desde a linha de baixa-mar ao longo da costa, tal como indicada nas cartas marítimas de grande escala, reconhecidas oficialmente pelo Estado costeiro”. A definição de linhas de base rectas faz-se com base em seis pontos do articulado, nos quais se define as condições para a sua determinação. Na Lei n. 34/2006, de 28 de Julho, é determinada a extensão das zonas marítimas sob soberania ou jurisdição nacional.

Optou-se assim por definir no MDG um diagrama de classes que contém apenas uma classe com quatro subtipos: i) linhas de base; ii) limite mar territorial; iii) limite de zona contígua; e iv) zona económica e exclusiva (ZEE). A Figura 23 apresenta o diagrama de classes correspondente.



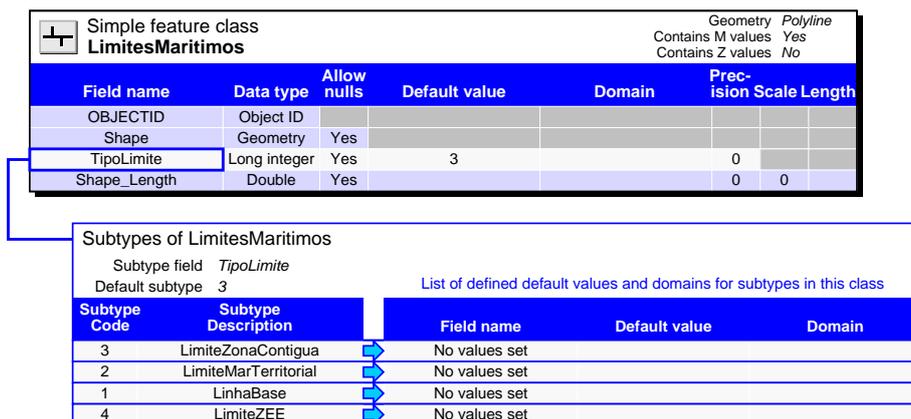


Figura 23. Diagrama de classes dos limites das águas marítimas

A delimitação georreferenciada das regiões hidrográficas internacionais é também revista em resultado de trabalhos de estruturas organizacionais de cooperação entre Portugal e Espanha, designadamente a Comissão para Aplicação e Desenvolvimento da Convenção de Albufeira (CADC) para a protecção e o aproveitamento sustentável das águas das bacias hidrográficas luso-espanholas, pelo que interessa que estes limites estejam presentes no modelo de dados proposto de forma a puderem ser considerados recorrentemente nas análises espaciais efectuadas. Neste sentido, a delimitação das regiões hidrográficas estabelecem uma relação topológica de sobreposição à linha de base a partir da qual são delimitadas as águas territoriais. Na Figura 24 estão representadas as regiões hidrográficas e o limite administrativo da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP). A delimitação marítima das regiões hidrográficas é assim coincidente com a linha de base recta definida na Lei n. 34/2006, de 28 de Julho, sendo evidentes as formas rectas da delimitação Oeste das regiões hidrográficas.

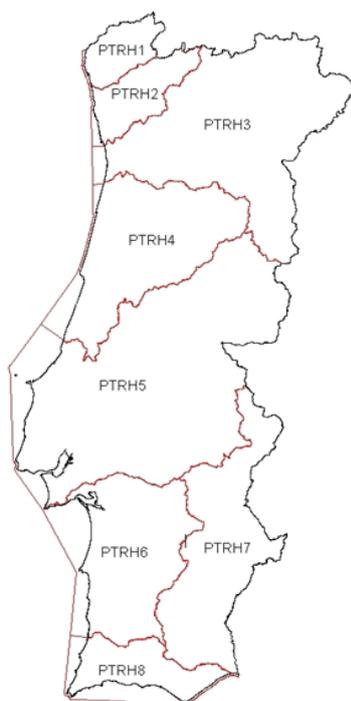


Figura 24. Delimitação das regiões hidrográficas. Fonte: InterSIG, regiões hidrográficas (Artigo 13.º da DQA)

#### 4.4 Pacote UML relativo a elementos de hidrografia

O documento técnico que estabelece a metodologia de identificação e classificação das massas de água (European Commission, 2003a) refere que a sub-divisão das massas de água deverá ser a necessária para, de uma forma consistente, aplicar os critérios de análise do estado da massa de água, bem como a implementação das medidas que levem ao cumprimento dos objectivos ambientais da DQA. Assim, a representação das massas de água superficiais não deverá ter como objectivo único o da individualização e classificação do risco de cumprimento dos objectivos ambientais propostos pela DQA.

As classes de objectos representadas no diagrama de classes referente a hidrografia descendem de um conjunto de classes abstractas que definem os atributos comuns entre as classes de objectos geográficos representadas. Neste diagrama de classes são declaradas classes com geometrias a 0 (zero) dimensões (que herdam as características da classe abstracta *PontosHidro*), a 1 dimensão (que herdam as características da classe abstracta *LinhasHidro*) e a 2 dimensões (que herdam as características da classe abstracta *AreasHidro*).

O pacote UML referente aos elementos de hidrografia contém dois diagramas de classes UML: o diagrama de classes *Hidrografia* e o diagrama de classes *MassasAguaSuperficiais*. A integração dos dois diagramas de classes num único pacote UML expressa uma ligação conceptual entre as classes consideradas. O esquema representado na Figura 25 ilustra a organização conceptual do pacote UML relativo a hidrografia.

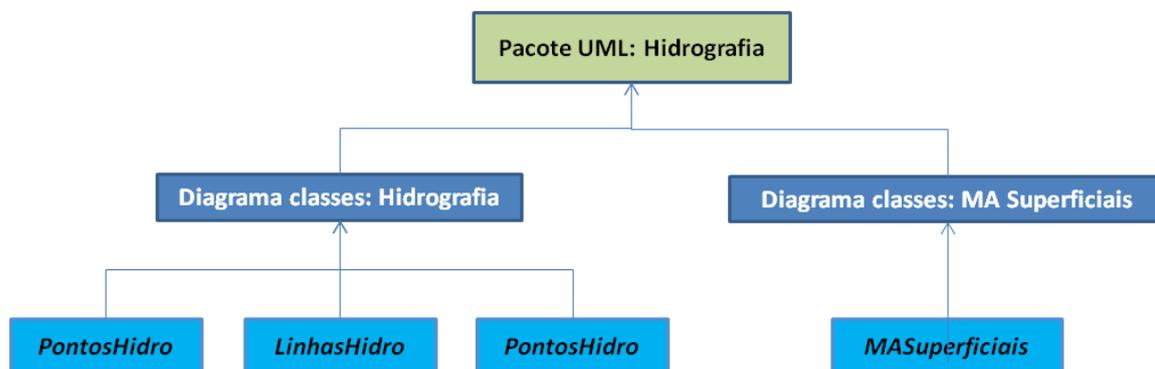


Figura 25. Esquema conceptual geral do pacote UML relativo a elementos de hidrografia

##### 4.4.1 Diagrama de classes sobre hidrografia

O diagrama de classes *Hidrografia* tem como finalidade considerar as várias categorias de massas de água e os objectos físicos que possam influenciar, em quantidade ou qualidade, o escoamento superficial. Além destes, são também consideradas as classes nas quais se baseia a delimitação do domínio público hídrico e zonas adjacentes. A Figura 26 ilustra o diagrama de classes *Hidrografia*, do qual se salienta a particularidade da caracterização do ciclo de vida dos objectos representados (através da classe *Hidrografia*).

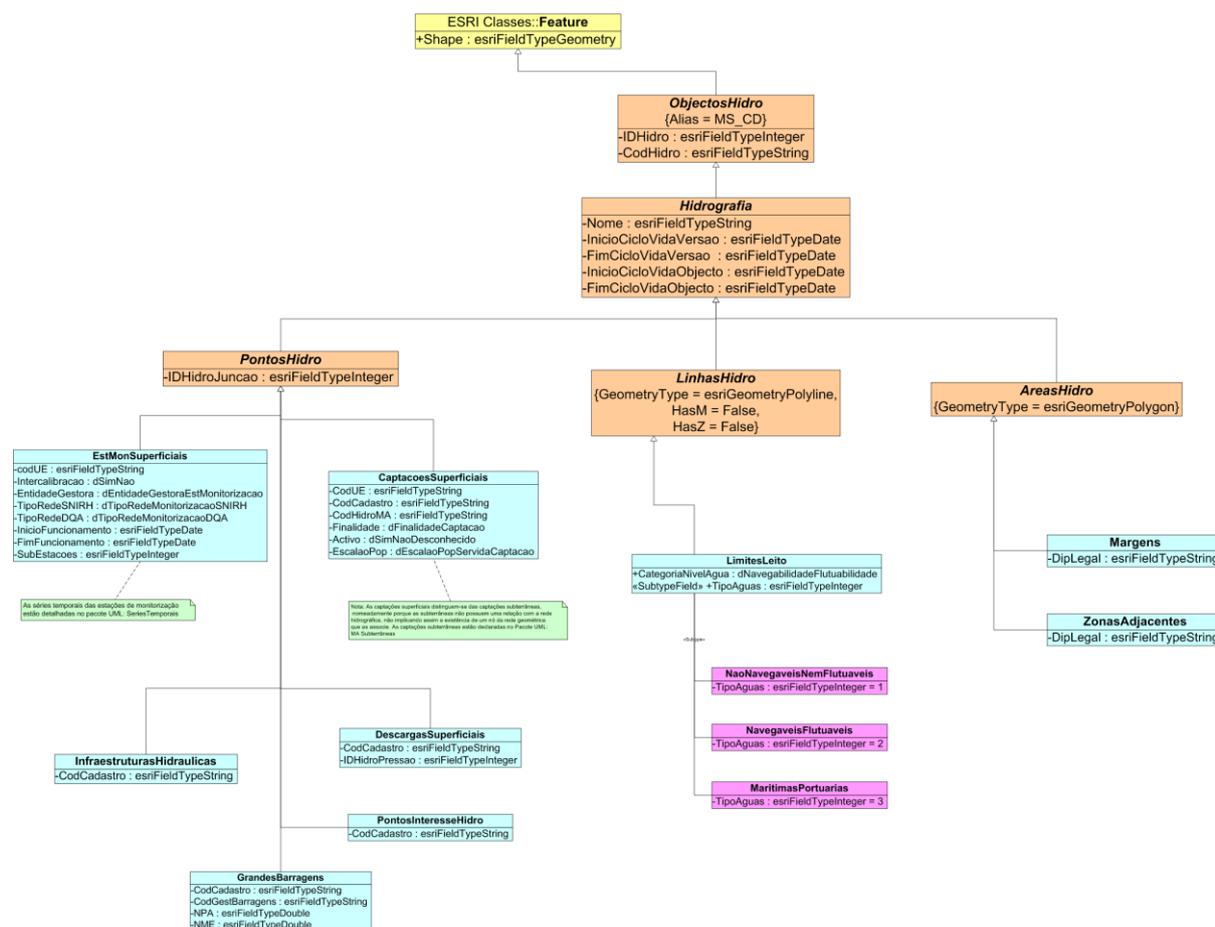


Figura 26. Diagrama de classes Hidrografia

O diagrama de classes apresenta uma estrutura hierárquica composta por 6 classes abstractas (*Feature*, *ObjectosHidro*, *Hidrografia*, *PontosHidro*, *LinhasHidro*, *AreasHidro*) que, na implementação física do modelo de dados, não originam qualquer elemento. Estas classes abstractas agregam as características comuns de cada grupo de classes. As classes representadas no diagrama de classes *Hidrografia* são representadas geograficamente por pontos, linhas, e polígonos; sendo que o diagrama agrupa as classes por tipo de representação geométrica. Descrevem-se nas secções seguintes as classes correspondentes aos tipos *PontosHidro*, *LinhasHidro*, e *AreasHidro*.

#### 4.4.1.1 Pontos Hidro

As classes referentes a estações de monitorização, captações superficiais, infra-estruturas hidráulicas, descargas superficiais, grandes barragens e pontos de interesse hidrológico são baseadas na classe abstracta *PontosHidro*. Todas estas classes são declaradas no modelo lógico através de uma geometria de pontos.

### A. Classe de captações superficiais

A caracterização das captações de água é essencial para diversos aspectos do planeamento e gestão de recursos hídricos, devido à sua importância estratégica de acordo com as finalidades a que se destinam, nomeadamente:

- abastecimento para consumo humano;
- rega;
- actividade industrial;
- produção de energia;
- actividades recreativas ou de lazer.

A LA estabelece-se no seu Art.º 48º que “(...) *devem ser identificadas em cada região hidrográfica todas as massas de água destinadas a captação para consumo humano que forneçam mais de 10 m<sup>3</sup> por dia em média ou que sirvam mais de 50 pessoas e, bem assim, as massas de água previstas para esses fins, e é referida, sendo caso disso, a sua classificação como zonas protegidas*”. As captações em massas de água superficiais que forneçam em média mais de 100 m<sup>3</sup> por dia devem ser designadas como pontos de monitorização suplementar na medida do necessário para cumprir os requisitos do artigo 54º da LA (referente à monitorização do estado das águas de superfície e subterrâneas e zonas protegidas).

A LA prevê, além dos perímetros de protecção, as zonas adjacentes às captações, sendo estas objecto de medidas de protecção especial. As medidas de protecção podem levar ao condicionamento ou interdição de construção edificada nestas áreas, e por inerência influenciar a ocupação do espaço territorial.

A portaria n.º 702/2009, de 6 de Julho estabelece os termos da delimitação dos perímetros de protecção das captações destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano, bem como os respectivos condicionamentos:

- o atributo *CodHidroMA* armazenará o código público permanente da massa de água superficial (*CodHidro*) captada. O preenchimento deste valor implica a existência do registo da respectiva massa de água na base de dados;
- os valores do atributo *Finalidade* são definidos pela lista de valores declarados no domínio *dFinalidadeCaptacao*. Este domínio foi definido de acordo com o Decreto-Lei 46/94 de 22 de Fevereiro.

As captações podem estar também relacionadas com a rede hidrográfica estabelecida no modelo de dados, sendo que essa associação se implementa através do atributo *IDHidroJuncao*, permitindo assim considerar um nó da rede hidrográfica que se regista como uma instância da classe *JuncoesHidro*. No modelo de dados não está definida a obrigatoriedade de a captação estabelecer uma associação com a rede hidrográfica, pelo que o atributo *IDHidroJuncao* permite valores nulos. Salienta-se que a rede hidrográfica, implementada através das classes

*SegmentosHidro* e *JuncoesHidro* devem estar devidamente instanciadas para que possam ser registadas as associações entre estas e as captações superficiais que se lhes associam.

A classe *Captacoes* associa-se assim às seguintes classes do modelo de dados:

- *JuncoesHidro*, respeitante à rede hidrográfica;
- *PerimetrosProteccao*, classe abstracta de onde herdam as classes referentes aos perímetros de protecção e zonas adjacentes (zonas de protecção especial).

## **B. Classe de infra-estruturas hidráulicas**

A classe de *InfraestruturasHidraulicas* tem como objectivo o registo das entidades geográficas representativas das localizações aproximadas das infra-estruturas hidráulicas. Assumiu-se que as infra-estruturas hidráulicas referentes a grandes barragens, de acordo com a definição dada pelo regulamento de segurança de barragens (RSB, Decreto-Lei 344/2007 de 15 de Outubro), não estão contempladas nesta classe. Dada a sua importância optou-se por considerar as grandes barragens numa classe própria, denominada *GrandesBarragens*. Optou-se por esta divisão porque, em Portugal continental, não existem massas de água da categoria lagos que não sejam fortemente modificadas, o que significa que todas as massas de água lagos, vulgarmente designadas albufeiras, são criadas pela existência de uma barragem. Neste sentido considerou-se pertinente dedicar-lhes uma classe única. A classe *Infraestruturas* associa-se à representação da rede hidrográfica (representada no diagrama *RedeHidrografica* – secção 4.8) através da classe *JuncoesHidro* por intermédio do seu atributo *IDHidro*. Assim, o valor que se regista para o atributo *IDHidroJuncao* da classe, corresponderá ao valor do atributo *IDHidro* da classe *JuncoesHidro*. Esta associação está declarada no diagrama de classes *AssociacoesRede* pertencente ao pacote UML *ObjectosSuperficiais*.

A representação pontual das entidades geográficas respeitantes a infra-estruturas hidráulicas raramente possuem a mesma localização planimétrica que as respeitantes aos nós da rede hidrográfica (*JuncoesHidro*), uma vez que os elementos da rede hidrográfica tendem a representar a linha de talvegue de uma massa de água superficial. A associação entre estas duas classes, com base nos atributos *IDHidro* e *IDHidroJuncao*, são a garantia de que ambas, mesmo não possuindo o mesmo par de coordenadas, se poderão relacionar numa análise geográfica. O mesmo método é aplicado as seguintes classes: *EstMonSuperficiais*, *BaciasHidrograficas*, *CaptacoesSuperficiais*, *DescargasSuperficiais*, entre outras.

A associação destas classes à rede hidrográfica está descrita na secção 4.9.1.

Em 1998 o LNEC desenvolveu e implementou uma base de dados para o cadastro nacional de infra-estruturas hidráulicas, denominada CADINFES (Santos e Viseu, 1998). Esta aplicação teve como objectivos: o armazenamento de todos os dados que foram coligidos no âmbito da elaboração dos planos de bacia hidrográfica e a facilitação da sua posterior integração no INSAAR e SNIRH. Actualmente, o INSAAR e o SNIRH constituem dois repositórios oficiais de informação sobre infra-estruturas hidráulicas.

Não foi objectivo do modelo lógico esgotar as possibilidades de caracterização das infra-estruturas hidráulicas e de saneamento básico. A principal função desta classe foi garantir um ponto de sincronização com sistemas de informação externos que possuam dados relevantes sobre este tipo de infra-estruturas. Para tal estabeleceram-se um conjunto mínimo de propriedades que garantem esta ligação, nomeadamente através dos seus sistemas de identificação adoptados.

**C. Classe de estações de monitorização**

A classe *EstMonSuperficiais*, que referencia as estações de monitorização superficiais e das zonas protegidas, não esgota a caracterização possível acerca das estações de monitorização, nomeadamente no que diz respeito a parâmetros, unidades, séries temporais, frequências de amostragem, métodos de amostragem, tipologias de redes, limites de detecção, etc. O objectivo principal da existência desta classe é congregar dados de monitorização provenientes de diversas fontes, nomeadamente do SNIRH. Para tal, foi desenvolvido um diagrama de classes específico denominado *SeriesTemporais* (vide secção 4.6).

Também esta classe, à imagem do anteriormente descrito para as classes *InfraEstruturasHidraulicas* e *CaptacoesSuperficiais*, pode relacionar-se com a representação da rede hidrográfica através do sistema de codificação *IDHidro-IDHidroJuncao*. De salientar que apenas as estações de monitorização superficiais de águas interiores e de águas de transição possuem associação com a representação da rede hidrográfica.

A Figura 27 ilustra as principais características da classe *EstMonSuperficiais*.

Simple feature class						Geometry Point		
EstMonSuperficiais						Contains M values	No	
						Contains Z values	Yes	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale	Length	
Shape	Geometry	Yes						
OBJECTID	Object ID							
IDHidro	Long integer	No			0			
CodHidro	String	Yes					40	
Nome	String	Yes					40	
InicioCicloVidaVersao	Date	Yes			0	0	8	
FimCicloVidaVersao	Date	Yes			0	0	8	
InicioCicloVidaObjecto	Date	Yes			0	0	8	
FimCicloVidaObjecto	Date	Yes			0	0	8	
IDHidroJuncao	Long integer	Yes			0			
codUE	String	Yes					42	
Intercalibracao	Long integer	Yes		dSimNao	0			
EntidadeGestora	Long integer	Yes		dEntidadeGestoraEstMonitorizacao	0			
TipoRedeSNIRH	Long integer	Yes		dTipoRedeMonitorizacaoSNIRH	0			
TipoRedeDQA	Long integer	Yes		dTipoRedeMonitorizacaoDQA	0			
InicioFuncionamento	Date	Yes			0	0	8	
FimFuncionamento	Date	Yes			0	0	8	
SubEstacoes	Long integer	Yes			0			

Figura 27. Classe EstacoesMonitorizacao

#### D. Classe de descargas superficiais

A classe *DescargasSuperficiais* tem a função de caracterizar todas as descargas superficiais significativas que tenham como meio receptor uma massa de água superficial. O conceito de descarga está presente na DQA através da definição de “abordagem combinada”, que consiste no controlo das descargas e emissões em águas de superfície de acordo com a abordagem definida no artigo 10º da DQA. Neste artigo é referido que a emissão destas descargas deve ser controlada, bem como estabelecidos os valores-limite de emissão pertinentes, nomeadamente para substâncias perigosas prioritárias. A descarga superficial está associada com a pressão tópica ou difusa, ou ainda com a infra-estrutura hidráulica relacionada, através do seu atributo *IDHidroPressao*. A classe *DescargasSuperficiais* relaciona-se com a representação da rede hidrográfica (*RedeHidrografica*) através da criação de um nó representativo da descarga superficial. A Figura 28 expõe a associação entre a descarga superficial (rejeições industriais ou domésticas) e o nó da rede hidrográfica, que consta do diagrama de classes *Objectos::AssociacoesRede* (descrito na secção 4.9).

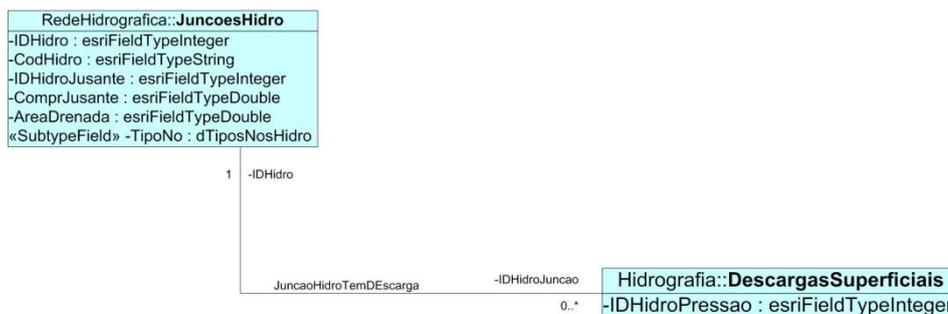


Figura 28. Associação das descargas superficiais a um nó da rede hidrográfica

O valor do atributo *IDHidroJuncao* relaciona-se com o valor do atributo *IDHidro* do nó da rede hidrográfica. Pode, ainda assim, ser assumido que não existe uma associação com a rede hidrográfica (este poderá ser o caso em que as descargas são feitas no solo, pelo que não atingem directamente a massa de água superficial). Não existindo nenhum nó da rede hidrográfica destinado a referenciar a descarga superficial (o valor deste atributo será nulo). Caso essa seja a opção do utilizador, ficará vedada a análise espacial em rede para estes casos.

#### E. Classe de pontos de interesse hidrográfico

A classe *PontosInteresseHidro* tem como objectivo armazenar locais ou objectos físicos de reconhecido interesse hidrológico ou hidrográfico. A classe pode ser instanciada com pontos de interesse como locais onde um rio cruza um aquífero, onde exista uma cascata, onde se localize um cais acostável, uma comporta de maré, locais onde um rio cruza uma fronteira administrativa ou ainda outros locais de interesse para a representação cartográfica. Optou-se por não definir atributos para a classe, na medida em que esta pode registar diversos tipos de entidades geográficas.

## F. Classe de grandes barragens

De acordo com o regulamento de segurança de barragens em vigor (Decreto-Lei n.º 344/2007 de 25 de Outubro) consideram-se grandes barragens as seguintes:

- barragens de altura igual ou superior a 15 m, ou barragens de altura igual ou superior a 10 m cuja albufeira tenha capacidade superior a  $10^6$  m<sup>3</sup>;
- barragens de altura inferior a 15 m que não estejam incluídas no grupo anterior e cuja albufeira tenha capacidade superior a  $10^5$  m<sup>3</sup>.

A classe *GrandesBarragens* tem como objectivo referenciar este tipo de infra-estruturas, para as quais foi considerada uma representação geográfica pontual. Como referido acerca da classe infra-estruturas, a classe *GrandesBarragens* está individualizada do conceito de infra-estrutura hidráulica por dela depender uma estreita associação com os conceitos de massa de água lagos e rios, e com a respectiva rede hidrográfica. Seguindo a mesma filosofia acerca do sistema de codificação baseado nas propriedades *IDHidro* e *CodHidro*, será possível estabelecerem-se as referidas associações. Fora do sistema de informação que implemente o modelo lógico desenvolvido, pode utilizar-se o sistema de codificação para partilhar informação acerca deste tipo de infra-estruturas.

A Figura 29 ilustra a associação entre a entidade geográfica *GrandesBarragens* e o nó da rede hidrográfica (que pode coincidir posicionalmente com a representação da barragem). O nó da rede hidrográfica representado também estabelece uma associação com a representação da albufeira (categoria de massas de água lagos fortemente modificadas). Neste sentido, a entidade da classe *JuncoesHidro* centralizará o sistema de codificação que tem por base as classes: *GrandesBarragens*, *Lagos*, *Rios*, *JuncoesHidro*.

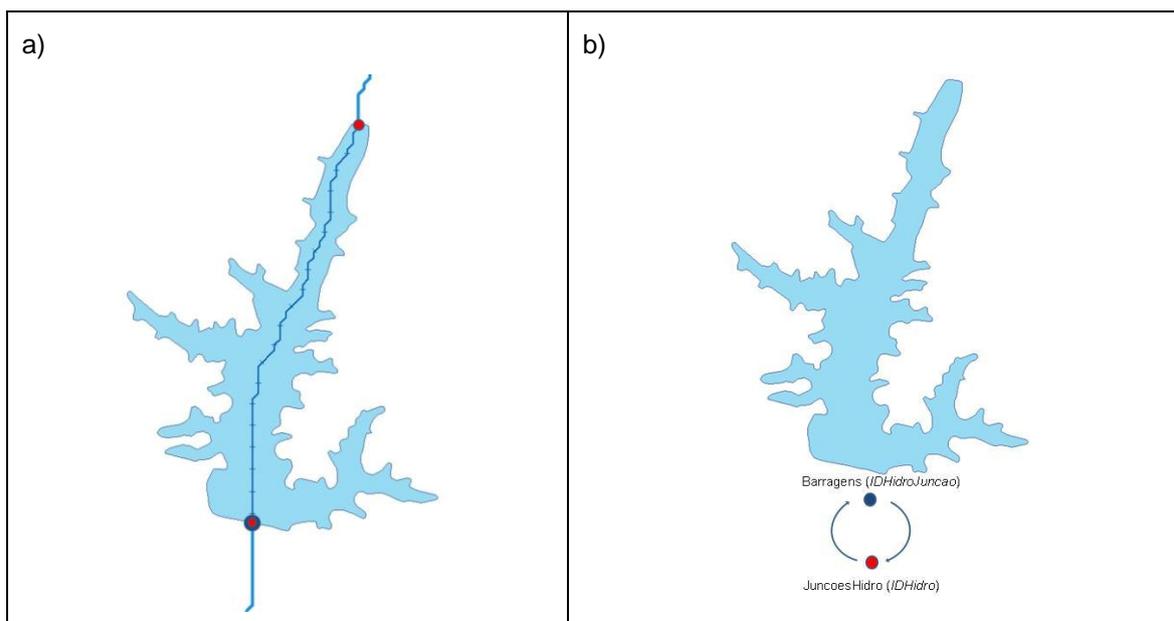


Figura 29. Sistema de codificação da associação entre as classes *GrandesBarragens* e *JuncoesHidro*. a) Representação das classes *Lagos*, *Rios*, *JuncoesHidro* e *GrandesBarragens*. b) Sistema de codificação de suporte à associação entre as classes *GrandesBarragens*-*JuncoesHidro*

#### 4.4.1.2 Linhas Hidro

A classe abstracta *LinhasHidro* possui apenas uma classe dependente, em que a representação geográfica linear se aplica (*vide* Figura 26). A classe *LimitesLeito* tem como objectivo representar as estidades geográficas lineares que definem o limite natural das massas de água, a partir do qual se delimitarão as margens, relacionadas com o conceito de domínio público hídrico (DPH).

##### A. Classe de limites de leito

A definição de leito está expressa no art. 10º da Lei n.º 54/2005 e art. 4º da Lei da água, entendendo-se como leito o terreno coberto pelas águas quando não influenciadas por cheias extraordinárias, inundações ou tempestades. No leito compreendem-se os mouchões, lodeiros e areais nele formados por deposição aluvial. O leito das **águas do mar**, bem como das demais **águas sujeitas à influência das marés**, é limitado pela linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (LMPAVE). Essa linha é definida, para cada local, em função do espraiamento das vagas em condições médias de agitação do mar. Em Teixeira (2009) são definidos os critérios para a demarcação do leito e da margem de águas do mar no litoral sul do Algarve, sendo que por despacho do presidente da autoridade nacional da água, datado de 25 de Janeiro (Despacho n.º 12/2010), esses critérios serão aplicados a toda a orla costeira continental.

A delimitação dos leitos e margens do DPH confinantes com terrenos de outra natureza compete ao Estado, oficiosamente ou a requerimento dos interessados. A delimitação é homologada por Resolução do Conselho de Ministros (RCM) e publicada no Diário da República (art. 17º da Lei n.º 54/2005). O leito das restantes águas é limitado pela linha que corresponder à estrema dos terrenos que as águas cobrem em condições de cheias médias, sem transbordar para o solo natural, habitualmente enxuto. Essa linha é definida, conforme os casos, pela aresta ou crista superior do talude marginal ou pelo alinhamento da aresta ou crista do talude molhado das motas, cômoros, valados, tapadas ou muros marginais (definindo estes as margens alcantiladas) (DGOTDU, 2005).

Esta classe tem assim associação com as classes referentes a: delimitação das margens (largura de margem); secções transversais; e todas as categorias de massas de água, de acordo com a classificação de navegabilidade e flutuabilidade.

#### 4.4.1.3 Áreas Hidro

A classe abstracta *AreasHidro* define a representação geográfica através de polígonos e possui duas classes dependentes relativas a: margens e zonas adjacentes (*vide* Figura 26). A Figura 30 representa as classes dependentes da classe abstracta *AreasHidro*.

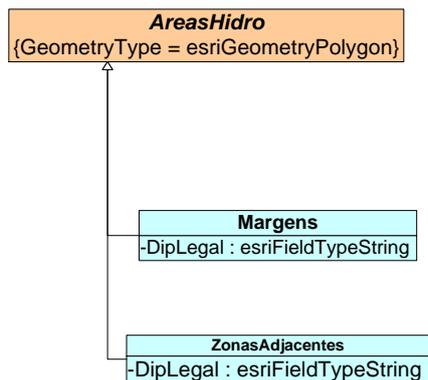


Figura 30. Sub-conjunto do diagrama de classes Hidrografia referente às zonas de domínio público hídrico

### A. Classe de margens

O conceito de margem é definido no art. 11º da Lei nº 54/2005 e o art. 4º da LA, entendendo-se como tal “a faixa de terreno contígua ou sobranceira à linha que limita o leito das águas com largura legalmente estabelecida”. Os limites respeitantes à “largura de margem legalmente estabelecida” aplicam-se de acordo com a definição do conceito de largura de margem expressa na alínea gg), do art 4º da LA, referindo-se que:

- a margem das águas do mar, bem como das águas navegáveis ou flutuáveis sujeitas actualmente à jurisdição das autoridades marítimas ou portuárias possuirão uma largura de 50 metros;
- a margem das restantes águas navegáveis ou flutuáveis possuirão uma largura de 30 metros;
- a margem das águas não navegáveis nem flutuáveis, nomeadamente torrentes, barrancos e córregos de caudal descontínuo possuirão uma largura de 10 metros;
- quando tiver a natureza de praia em extensão superior à estabelecida anteriormente, a margem estende-se até onde o terreno apresentar tal natureza;
- a largura da margem conta-se a partir da linha limite do leito; se, porém, esta linha atingir arribas alcantiladas, a largura da margem é contada a partir da crista do alcantil.

De acordo com o articulado na LA existe uma relação topológica entre a classe que representa os limites dos leitos das massas de água e a classe de margens. Neste sentido, foi estabelecida uma regra topológica que envolve as duas classes. A própria classe *Margens* é alvo de uma regra topológica que define a sua própria não sobreposição. Isto é, uma margem delimitada com base numa massa de água classificada como navegável ou flutuável, não pode sobrepor-se a uma qualquer outra margem delimitada.

Dado que a delimitação das margens se constitui com as classificações de navegabilidade e flutuabilidade das massas de água, optou-se, no desenho do modelo de dados, por se considerar que todas as entidades da classe *Margens* partilham o mesmo comportamento de acordo com o próprio conceito de margem. Optou-se assim por estabelecer uma única classe denominada

*Margens* a partir da qual são instanciadas todas as entidades que correspondem à delimitação das margens de acordo com a classificação de navegabilidade, fluviabilidade, marítima ou portuária. No caso de a linha limite do leito atingir arribas alcantiladas, a largura da margem é contada a partir da crista do alcantil, tal como ilustra o primeiro exemplo da Figura 31. No caso em que o limite do leito não atinge a arribá então a margem será delimitada a partir da linha limite do leito da massa de água, tal como ilustra o segundo exemplo.

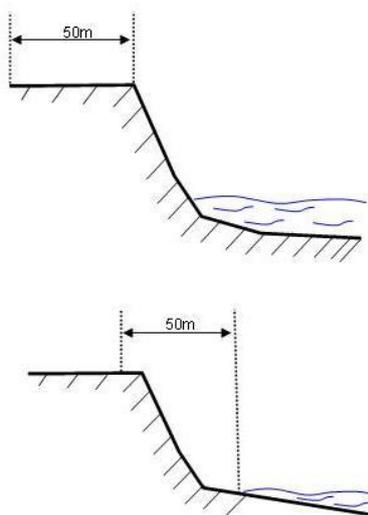


Figura 31. Exemplo de margens alcantiladas (Adaptado de DGOTDU, 2005)

De notar que, no caso das margens alcantiladas, a delimitação das margens pode não coincidir com a linha de limite do leito. Para estes casos não se aplica a relação topológica de adjacência. A representação destes casos está ilustrada na Figura 32.

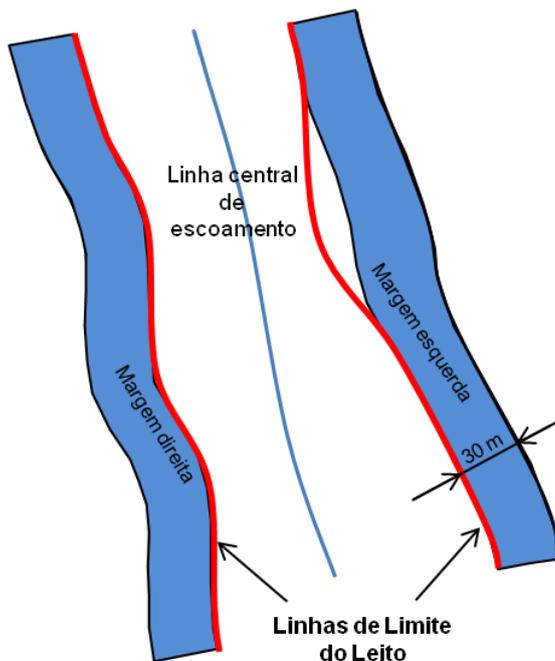


Figura 32. Exemplo de representação de margem de água navegáveis ou fluviáveis em que se incluem margens alcantiladas

## **B. Classe de zonas adjacentes (*AreasHidro*)**

O art. 40.º da LA estabelece que os instrumentos de planeamento de recursos hídricos e os instrumentos de gestão territorial devem demarcar as zonas adjacentes e identificar as portarias onde é declarada a sua classificação. Neste sentido optou-se, no MDG, por representar as zonas adjacentes através de polígonos e registar o diploma legal que formaliza a sua criação. As zonas adjacentes às águas públicas estão definidas no artigo 22.º a 25.º da Lei n.º 54/2005, e art. 4º da Lei n.º 58/2005. De acordo com o articulado entende-se por zonas adjacentes toda a área contígua à margem que, por se encontrar ameaçada pelo mar ou pelas cheias, seja classificada como tal em portaria do Ministério do Ambiente.

De acordo com a mesma lei, a portaria que formaliza a classificação de zonas adjacentes define, dentro destas, as áreas de ocupação edificada interdita e as áreas de ocupação edificada condicionada. As zonas adjacentes mantêm-se sobre propriedade privada ainda que sujeitas a restrições de utilidade pública, na qual se incluem a interdição ou condicionamento à edificação. As restrições de utilidade pública aplicáveis estão contempladas no modelo lógico através do diagrama de classes referente às áreas inundáveis (diagrama *Riscos*). As zonas adjacentes estendem-se para o exterior das zonas de margem até uma linha convencional que poderá ser calculada com base em modelos hidrológicos e hidráulicos.

A delimitação das zonas adjacentes aplica-se a todas as categorias de massas de água, inclusive às zonas ameaçadas pelo mar onde tecnicamente se preveja o avanço das águas do mar sobre terrenos particulares situados além da margem, tal como define o art. 22.º da Lei n.º 54/2005. Classificam-se como zonas adjacentes, por se encontrarem ameaçadas pelas cheias, as áreas contíguas ao limite externo da margem de uma massa de água. As zonas adjacentes estendem-se até à linha alcançada pela maior cheia, com período de retorno de 100 anos, ou a maior cheia conhecida, no caso de não existirem dados que permitam identificar a anterior (art. 23.º e 24.º da Lei n.º 54/2005).

Os conceitos de “zona adjacente” e “zona inundável” tendem a sobrepor-se na medida em que apresentam uma considerável proximidade geo-semântica; a própria definição de zona adjacente inclui o conceito de zona inundável. Segundo a LA, uma zona adjacente consiste numa “zona inundável ou ameaçada pelas cheias”. Dado que o conceito de zona adjacente, tal como o nome indica, implicam uma adjacência à margem, optou-se por diferenciar os conceitos de “zona adjacente” e “zona inundável”, distinguindo-os pela forma de representação geográfica. Assim, o conceito de “zona adjacente” implica algum grau de adjacência às margens, e o conceito de “zona inundável” inclui os leitos, margens e as próprias zonas adjacentes numa única entidade geográfica. A Figura 33 ilustra esquematicamente a relação entre a representação das “margens” e a representação das “zonas adjacentes”. Ambas as entidades geográficas são representadas por polígonos, e ambas são influenciadas pela linha representativa do limite do leito. É sobre a linha limite do leito (na figura a vermelho) que se representarão as margens. Na margem direita representada na figura, a zona adjacente deixa de ser representada, ilustrando o caso em que as

zonas ameaçadas pelo mar ou pelas cheias não ultrapassam o limite da representação da margem.

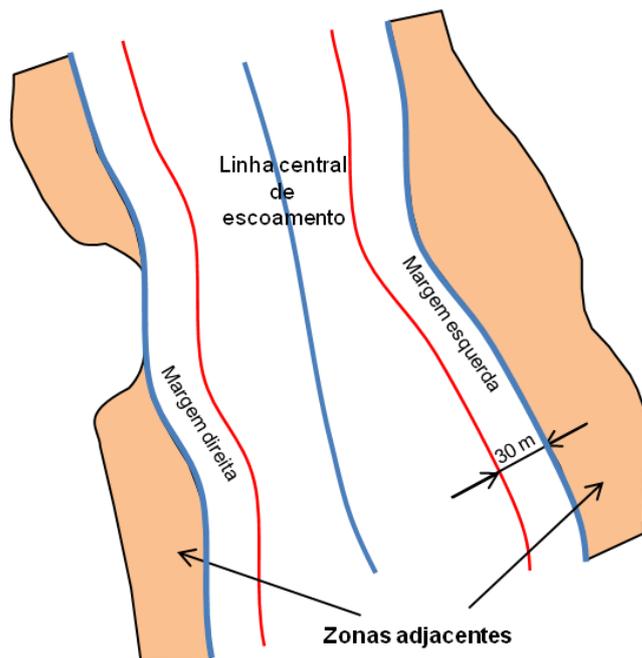


Figura 33. Representação esquemática das entidades margens e zonas adjacentes de massas de água navegáveis ou flutuáveis

A Figura 34 ilustra a representação do conceito de zona inundável, do qual se destaca o facto de se sobrepor geograficamente à representação das entidades de *margens* e *zonas adjacentes*. Toda a área da figura representa o conceito de zona inundável.

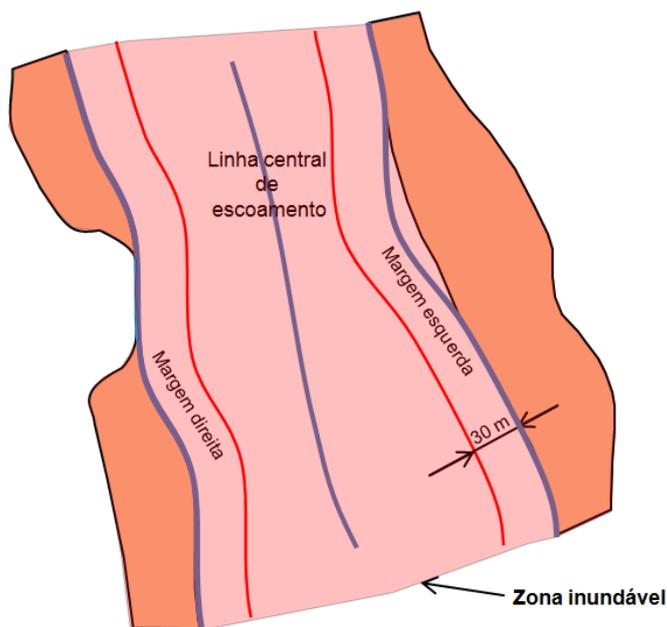


Figura 34. Representação esquemática da entidade zona inundável

De salientar que as zonas inundáveis ameaçadas por cheias contemplam não só as cheias naturais, mas também as cheias induzidas por rotura total ou parcial de infra-estruturas hidráulicas

sujeitas a delimitação segundo o enquadramento legal aplicável (do qual é exemplo o regulamento de segurança de barragens).

A classe de zonas adjacentes estabelece relações topológicas com a classe *Margens* e com a classe *SeccoesTransversais* (dado que as zonas inundáveis ou ameaçadas pelas cheias): com a classe *Margens*, devido aos seus limites coincidirem, e com as secções transversais, devido às zonas adjacentes poderem ser delimitadas com recurso a modelos matemáticos que se baseiam nestas secções transversais. Também se deverá verificar a relação topológica de não sobreposição entre nenhuma das entidades da classe *ZonasAdjacentes*.

#### 4.4.2 Diagrama de classes sobre massas de água superficiais

De acordo com a DQA e LA foram estabelecidas as seguintes categorias de massas de água superficiais: rios, lagos, transição e costeiras. No âmbito da implementação da DQA, cada estado-membro foi obrigado a identificar e delimitar todas as massas de água sob sua jurisdição. Cada massa de água existente foi assim afectada a cada uma das categorias de massas de água supracitadas.

As águas territoriais também são consideradas águas superficiais, dado que a aplicação da DQA as abrange no que respeita ao seu estado químico. Nesse sentido, apesar de a delimitação das regiões hidrográficas abranger uma milha náutica a partir da linha de base (no sentido das águas marítimas), em termos formais a aplicação da DQA inclui também as águas territoriais. As águas territoriais situam-se entre a linha de base e uma linha distando 12 milhas náuticas da linha de base. Estes conceitos foram modelados no diagrama de classes respeitantes aos limites marítimos.

Cada massa de água pode ser designada como fortemente modificada ou artificial (art. 4.º, Lei da água; European Commission, 2003c). Designa-se uma massa de água superficial como fortemente modificada aquela cujas características foram consideravelmente modificadas por alterações físicas resultantes da actividade humana e que adquiriram um carácter substancialmente diferente, sendo estas designadas como tal em normativo próprio. Designa-se uma massa de água como artificial a que tenha sido criada pela actividade humana. São exemplo desta designação os canais de rega, as albufeiras e os portos. Segundo o Instituto da Água (INAG, 2005), a classificação de massas de água fortemente modificadas baseou-se nos seguintes critérios:

- a) na categoria “rios” foram considerados os troços de rio a jusante de albufeiras;
- b) na categoria “lagos” foram consideradas as albufeiras;
- c) nas categorias “águas de transição” e “águas costeiras” foram consideradas as que apresentavam alterações físicas.

O INAG procedeu a uma caracterização prévia das diversas categorias das massas de águas superficiais, tendo descrito a metodologia que deu origem à tipificação das diversas categorias de massas de água (INAG, 2005). A análise foi baseada em características abióticas e bióticas de acordo com descritores físicos e químicos obrigatórios e facultativos característicos de cada categoria de massas de água. O MDG tem assim em conta a classificação abiótica e biótica da cada categoria de massa de água, constando estas características como propriedades das classes do modelo de dados. Optou-se por fazer depender os valores destas classificações de tipologia, de listas codificadas que determinam os valores elegíveis para estas propriedades. De salientar que os valores admissíveis definidos nas listas codificadas referentes às tipologias de massas de água não permitem escolha múltipla, isto é, cada massa de água pertence apenas a uma única tipologia.

O Decreto-Lei n.º 77/2006 define, no seu anexo I, parte I, os critérios de caracterização das águas superficiais. Faz-se referência no referido diploma a que todas as massas de água superficiais sejam afectas a uma das seguintes categorias: rios, lagos, águas de transição ou costeiras – ou como uma massa de água superficial artificial ou como uma massa de água superficial fortemente modificada. Dado que o âmbito do trabalho apenas inclui as massas de águas superficiais, será sobre essas massas que se passa a descrever os critérios de identificação e caracterização.

Assim, cada categoria de massas de água é diferenciada de acordo com o Sistema A ou o Sistema B (tipos de massas de águas superficiais). O sistema A implica a inclusão das massas de água na eco-região Ibero-macaronésica, tal como definido no mapa do anexo XI da DQA. Cada sistema possui descritores próprios. A grande maioria destes descritores e factores físico-químicos beneficiam claramente do facto de poderem ser analisados com recurso a um sistema de informação geográfica que tenha subjacente um modelo de dados geográficos. O diagrama de classes respeitante às categorias de massas de águas superficiais é apresentado na Figura 35.

A classe *MassasAguaSuperficiais* é uma classe abstracta que agrega as propriedades comuns às classes que agrupam os objectos respeitantes às categorias de massas de água superficiais: rios, lagos, transição e costeiras.

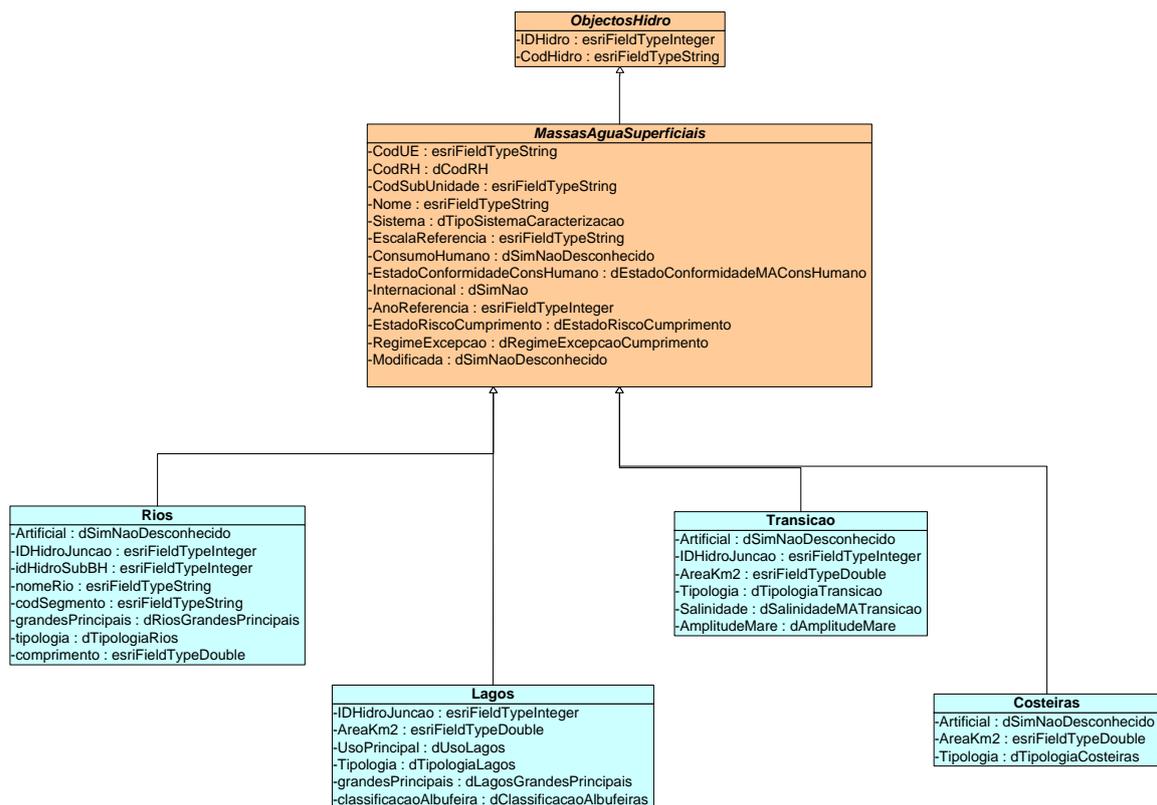


Figura 35. Diagrama de classes referente às categorias de massas de água superficiais

Todas as categorias de massa de água são classificáveis como prioritárias para atingirem o bom estado geral. As massas de água podem ser classificadas como prioritárias quando enquadradas nas seguintes condições:

- as massas de água que estejam identificadas como zonas protegidas;
- as massas de água onde devem ser supridas as emissões, as descargas e as perdas acidentais de substâncias prioritárias;
- as massas de água onde a poluição provocada por substâncias prioritárias deve ser gradualmente reduzida;
- as massas de água onde devem ser evitadas ou limitadas as descargas de outros poluentes;
- as massas de água onde a poluição de águas marinhas e territoriais deve ser prevenida ou eliminada;
- as massas de água abrangidas por acordos internacionais.

Dado que cada massa de água se pode enquadrar em uma ou mais características citadas, optou-se por considerar um diagrama de classes específico para as classificações de massas de água prioritárias. Este diagrama está integrado no pacote UML *ObjectosSuperficiais*.

A Figura 36 apresenta o diagrama de classes para registo da classificação de prioritárias de todas as categorias de massas de água.

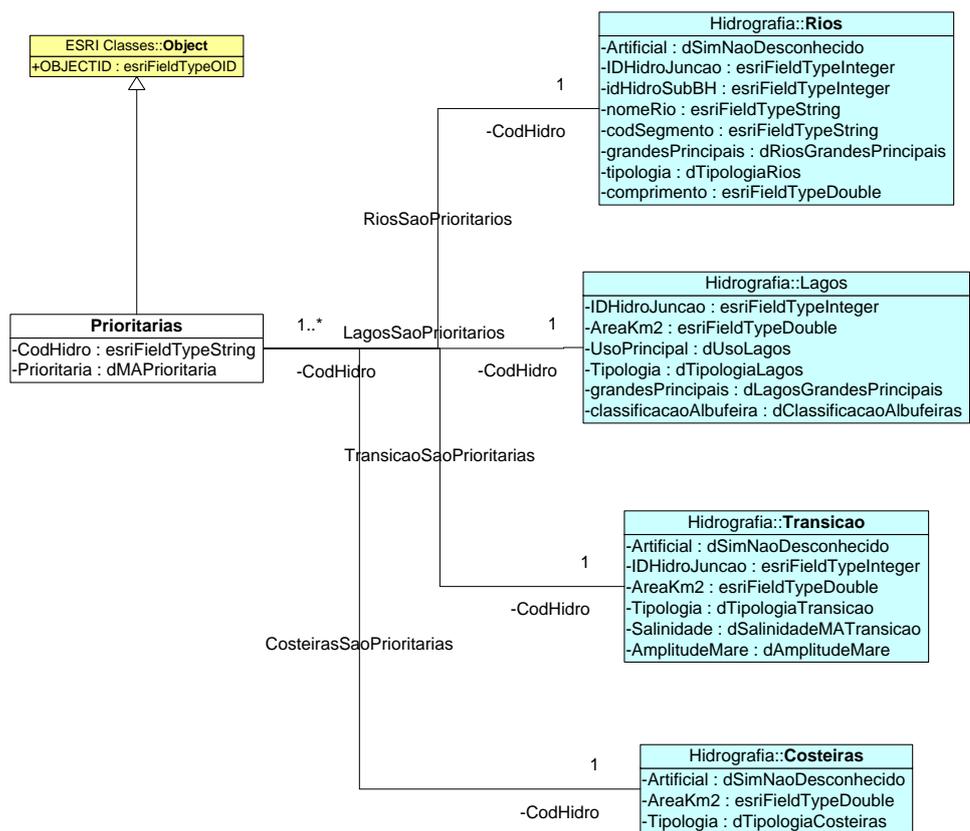


Figura 36. Diagrama de classes para classificação de massas de água prioritárias

### A. Classe de massas de água da categoria rios

O documento referente à análise da tipologia de rios em Portugal continental foi publicado em Janeiro de 2008 (INAG, 2008). Este trabalho teve como objectivo determinar os tipos de massas de águas da categoria “rios” com características geográficas e hidrológicas relativamente homogéneas, permitindo assim uma comparação do estado ecológico dentro de cada grupo de rios com características semelhantes. Foi feita não só uma classificação abiótica, baseada no sistema B de caracterização, mas também uma classificação em que foram tidos em conta factores bióticos como os invertebrados bentónicos, diatomáceas (fitobentos), macrófitos e peixes. No âmbito desta análise foram constituídos 15 tipos de rios.

A identificação e caracterização dos tipos de rios, da responsabilidade do INAG, foram efectuadas considerando como factores obrigatórios a latitude, a longitude, a altitude, a geologia e a dimensão da área de drenagem e, como factores facultativos, o declive médio do escoamento, a amplitude térmica do ar, a temperatura média do ar, a precipitação média anual e o coeficiente de variação da precipitação. A tipologia abiótica foi validada com informação biológica das comunidades da flora aquática (diatomáceas e macrófitos), de macroinvertebrados bentónicos e de ictiofauna.

### B. Classe de massas de água da categoria lagos

As albufeiras pertencem à categoria lagos. A caracterização dos tipos de albufeiras foi efectuada considerando como factores obrigatórios a latitude, a longitude, a altitude, a geologia, a

profundidade média e a dimensão da massa de água e, como factores facultativos, o desenvolvimento da margem, o grau de mineralização, a distância à nascente, a temperatura média da bacia, a precipitação média e a variação do nível. Esta tipologia foi validada biologicamente, considerando os elementos biológicos de qualidade: fitoplâncton, diatomáceas, macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna e encontra-se descrita em Ferreira *et al.* (2009).

### **C. Classe de massas de água da categoria águas de transição e águas costeiras**

A caracterização dos tipos das massas de água de transição e massas de água costeiras foi efectuada de acordo com a metodologia definida no âmbito do estudo TICOR em Bettencourt *et al.* (2003).

A metodologia para a caracterização dos tipos de massas de água de transição e de massas de água costeiras descrita para sistemas maiores que 1 km<sup>2</sup>, classificados pelo sistema B, utilizou duas abordagens, “*top-down approach*” e “*bottom-up approach*”, considerando como factores obrigatórios a latitude, a longitude, a salinidade e a gama de amplitudes de marés e, como factores facultativos, as características de mistura (águas de transição), a exposição à agitação marítima, a forma (semi-fechada ou aberta) e a profundidade média (águas costeiras). Os detalhes sobre as metodologias de caracterização dos tipos e da definição das massas de água de transição e costeiras constam de INAG (2005), complementado por INAG (2010).

A definição das condições de referência dos elementos de qualidade para cada tipo e categorias de massas de água inclui os elementos biológicos, hidromorfológicos e físico-químicos, independentemente do método de classificação de massa de água utilizado. Assim, para determinar o estado ecológico actual, ou o potencial ecológico caso se trate de massas de água fortemente modificadas ou artificiais, foi considerado no modelo de dados um diagrama de classes específico para estas classificações, descrito na secção 4.5.2.

## **4.5 Pacote UML relativo a programas de monitorização e estado das massas de água**

Os programas de monitorização são concebidos no âmbito da elaboração dos PGRH com o objectivo de obter informação coerente e completa sobre o estado das massas de água superficiais e subterrâneas existentes em cada região hidrográfica. Também as zonas protegidas são sujeitas a monitorização estipulada pelos normativos específicos que se lhes aplicam.

As especificações técnicas e os métodos normalizados de análise e de controlo do estado das massas de água superficiais e subterrâneas são definidos por diploma regulamentar, nos termos do n.º 6 do artigo 54.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, tendo em consideração o disposto nos anexos do Decreto-Lei n.º 77/2006, do qual fazem parte integrante:

- Anexo VI, «Monitorização das águas superficiais»;
- Anexo VII, «Monitorização das águas subterrâneas»;

- Anexo VIII, «Controlo e monitorização das zonas de protecção».

O pacote UML relativo a programas de monitorização agrupa 3 diagramas de classes: i) programas de monitorização; ii) estado de massas de água superficiais e iii) regimes de excepção aplicados a águas superficiais.

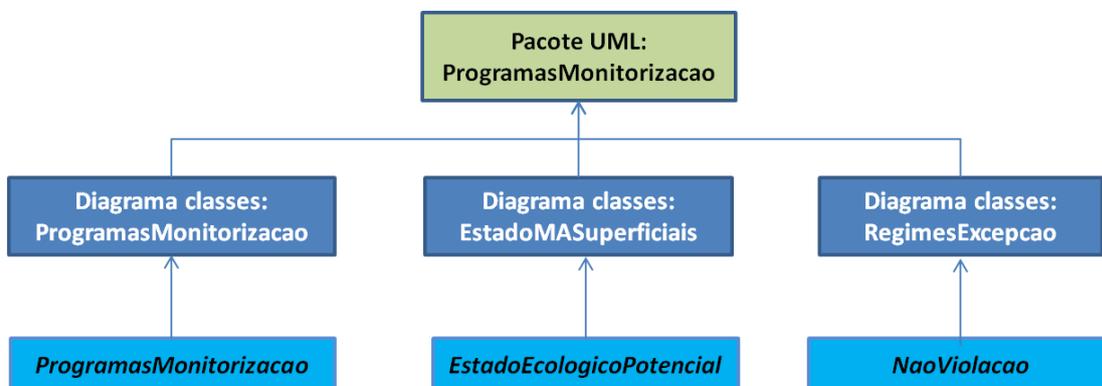


Figura 37. Esquema conceptual geral do pacote UML relativo aos programas de monitorização

Todos os diagramas de classes contêm apenas classes não geográficas. As associações entre os programas de monitorização e as classes de massas de água e zonas protegidas a que se aplicam estão declaradas no pacote UML *ObjectosSuperficiais::AssocProgMonitorizacaoMA* e *AssocProgMonitorizacaoZP*.

#### 4.5.1 Diagrama de classes sobre programas de monitorização

Os programas de monitorização referentes às massas de águas superficiais dividem-se em três tipos: vigilância, operacional ou de controlo, e de investigação. Cada tipo de monitorização possui, consoante a categoria e tipologia de massa de água a que se aplica, pontos de amostragem (estações de monitorização) e frequências específicas de análise dos parâmetros agrupados em elementos de qualidade. O diagrama de classes referente aos programas de monitorização aplicável a massas de água superficiais e zonas protegidas está representado na Figura 38.

No âmbito da elaboração dos PGRH serão estabelecidos os programas de monitorização que se baseiam na caracterização e na avaliação dos impactos da actividade humana nas massas de água (pressões antropogénicas), efectuadas nos termos do art.º 5.º e do anexo II da DQA, do art.º 54.º da LA e do anexo VI do Decreto-Lei n.º 77/2006. O n.º 5 do anexo VI do Decreto-Lei n.º 77/2006 estabelece na sua alínea ii) que “para assegurar a comparabilidade dos sistemas de monitorização, os resultados dos sistemas utilizados são expressos, para efeitos de classificação do estado ecológico, como rácios de qualidade ecológica. Esses rácios representam a relação entre os valores dos parâmetros biológicos observados para uma dada massa de águas superficiais e os valores desses parâmetros nas condições de referência aplicáveis a essa mesma tipologia de massa de água. O rácio é expresso através de um valor numérico adimensional entre 0 e 1, sendo um estado ecológico excelente representado por valores próximos de 1 e um mau

estado ecológico representado por valores próximos de “0”. Optou-se por não incluir explicitamente um atributo que armazenasse os valores desses cálculos, no entanto, garante-se que com a estrutura proposta, esses cálculos são passíveis de serem executados.

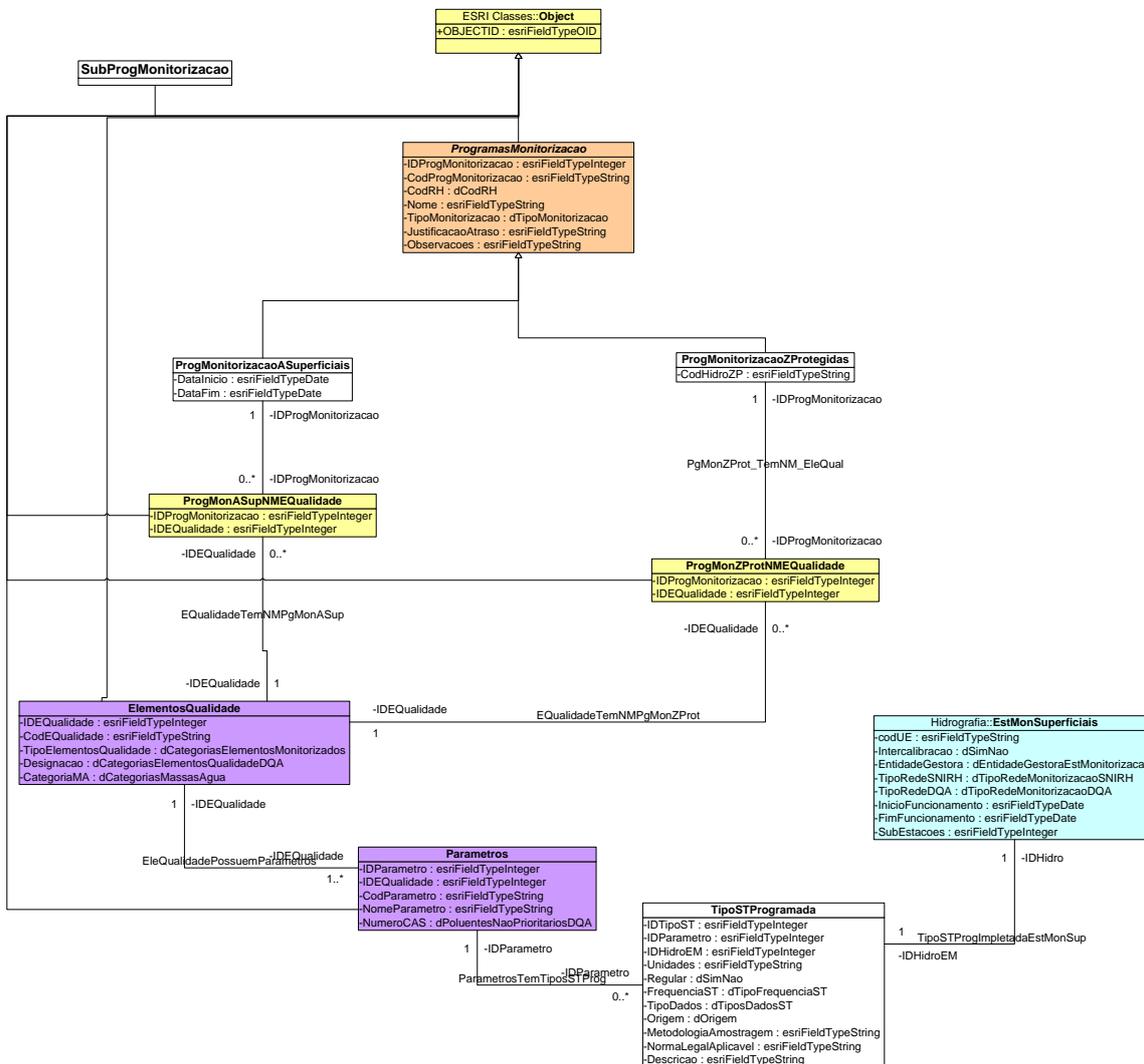


Figura 38. Diagrama de classes referente aos programas de monitorização das águas superficiais, zonas protegidas

Para as massas de água que estejam classificadas no “estado inferior a bom” é necessário definir as medidas necessárias para alcançar classificação de “bom”, medidas essas que terão repercussões económicas e sociais, daí a importância de utilizar um sistema de classificação devidamente coerente e robusto (INAG, 2009b). É expectável que os programas de medidas previstos se apliquem a massas de água com classificação de “estado inferior a bom”, ou sobre pressões responsáveis por tal classificação. Os métodos de avaliação de qualidade biológica estão definidos para a categoria de massas de água rios e albufeiras. No caso dos rios as metodologias de amostragem e análise adoptadas para todos os elementos biológicos e hidromorfológicos terão em conta as normas de qualidade CEN/ISO e as metodologias nacionais entretanto estabelecidas. A monitorização dos elementos físico-químicos está baseada no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. Estão publicadas as metodologias de amostragem para

fitobentos, macrófitos, macroinvertebrados e peixes (INAG, 2008a, b, c, d). No caso das albufeiras estão também definidas as metodologias de amostragem e análise para os elementos biológicos, hidromorfológicos e físico-químicos.

#### 4.5.2 Diagrama de classes sobre o estado das massas de água superficiais

O estado ecológico das massas de água superficiais é determinado com base num conjunto de elementos de qualidade que variam consoante a categoria e a tipologia de massas de água. Estes elementos de qualidade foram agrupados no contexto da DQA em:

- elementos biológicos;
- elementos hidromorfológicos de suporte aos elementos biológicos;
- elementos físico-químicos de suporte aos elementos biológicos.

O bom estado das águas superficiais consiste numa classificação geral que integra as classificações dos elementos de qualidade do estado ecológico e poluentes específicos e a classificação de substâncias prioritárias e perigosas do estado químico. Para cada categoria e tipo de massa de água é aferida a classificação dos parâmetros que integram os três tipos de elementos de qualidade, os poluentes específicos e as substâncias prioritárias e perigosas. Para concretizar a aferição dos parâmetros são determinados pontos de amostragem nos quais se aplicam os protocolos de amostragem próprios. Os pontos de amostragem são concretizados no modelo de dados como estações de monitorização.

As características do estado de qualidade das águas superficiais e potencial ecológico, a atingir nos termos do disposto no n.º 3 do artigo 46.º da LA, são fixadas por diploma regulamentar, tendo em conta o disposto no anexo V do Decreto-Lei n.º 77/2006, que define os **elementos de qualidade** para a classificação do estado ecológico das massas de água naturais e para a classificação do potencial ecológico.

A avaliação do estado das massas de águas superficiais é efectuada, em ciclos de seis anos dos PGRH, com base em programas de monitorização que caracterizem e avaliem os impactes da actividade humana nas massas de água de acordo com o estabelecido nos termos do artigo 5.º e do anexo II da DQA, e do artigo 54.º da LA, e do anexo VI do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março.

No que respeita aos critérios de classificação do estado das massas de água estão actualmente publicados os respeitantes às massas de água rios e albufeiras<sup>67</sup>. Os critérios de classificação das massas de água de transição e costeiras aguardam publicação. Independentemente da publicação dos critérios de classificação por parte do INAG, prevê-se que os PGRH incluirão informação

---

<sup>67</sup> [http://dqa.inag.pt/dqa2002/port/docs\\_apoio/Criterios\\_massas%20agua.html](http://dqa.inag.pt/dqa2002/port/docs_apoio/Criterios_massas%20agua.html)

acerca das metodologias a utilizar na determinação dos elementos de qualidade e respectivas fronteiras de classificação do estado das massas de água. Também os níveis de fiabilidade e precisão alcançados pelas metodologias implementadas serão aferidos no âmbito da elaboração dos PGRH. Reconhecesse assim a relevância de suportar no desenho do MDG a classificação dos elementos de qualidade aplicáveis a cada categoria de massas de água, bem como o nível de confiança da classificação. A Figura 39 apresenta o diagrama de classes proposto para a caracterização do estado das massas de água superficiais. As classes de massas de água superficiais são herdadas do pacote UML *Hidrografia*, tal como indica o seu nome (p.e. *Hidrografia::Rios*).

O diagrama de classes respeitante ao estado das massas de água tem como objectivo a classificação dos elementos de qualidade e outros poluentes respeitantes às massas de água superficiais. Estão considerados os elementos referentes ao estado químico geral (que consiste numa agregação dos valores dos parâmetros caracterizadores de diversas substâncias químicas), e ao estado ecológico geral (que consiste numa agregação dos valores dos parâmetros dos elementos de qualidade biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos). Assim, cada categoria de massa de água é caracterizada com a classificação agregada para cada um destes elementos de estado ecológico e químico, dando posteriormente origem à definição do estado geral da massa de água.

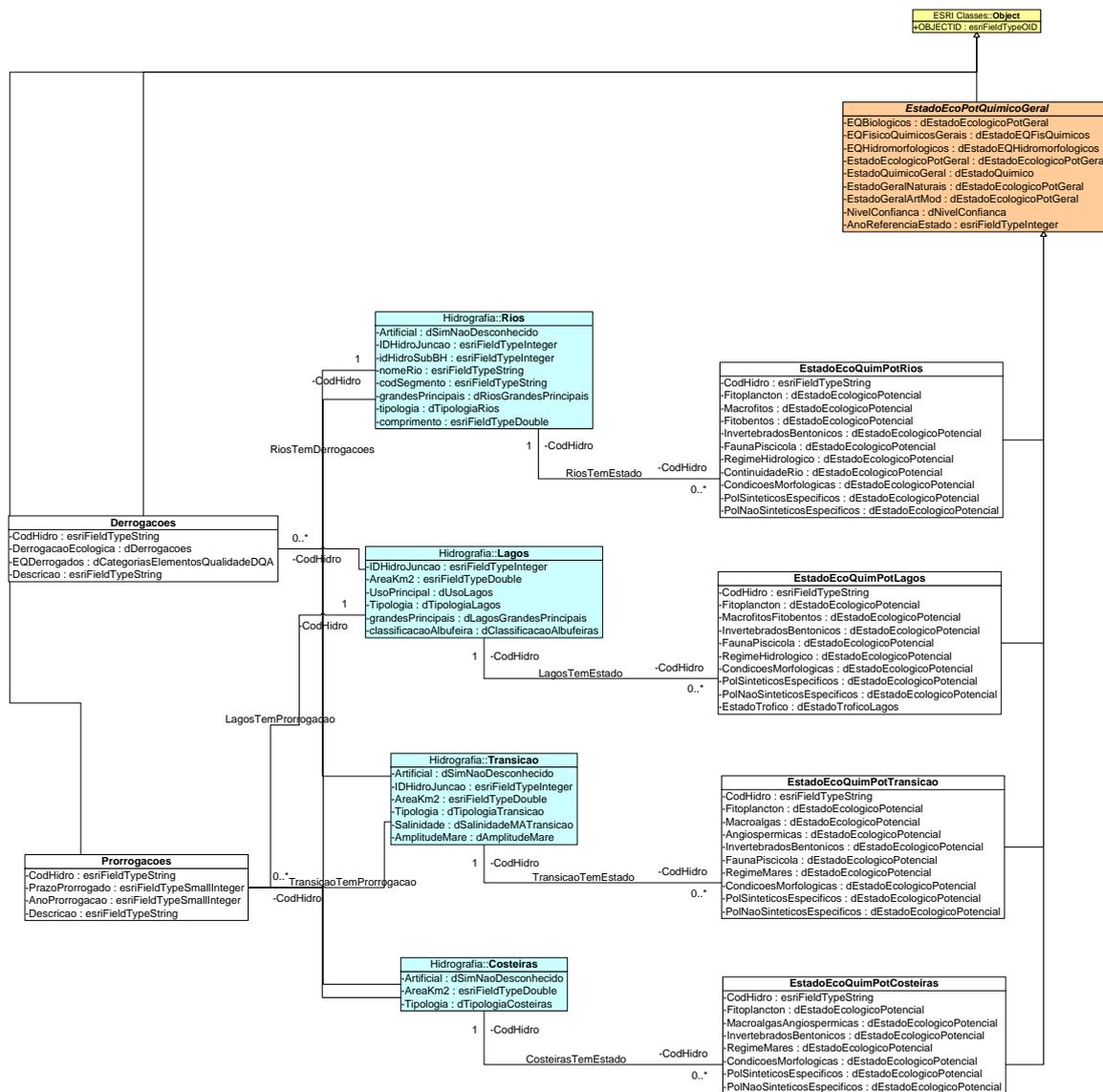


Figura 39. Diagrama de classes referente à caracterização do estado das massas de água

No que respeita ao estado químico das águas de superfície, são consideradas no MDG as substâncias prioritárias e as substâncias perigosas, relacionando-as com o programa de monitorização em que se enquadram. Existe também uma associação com as massas de água em que estes tipos de substâncias atingem ou excedem as normas de qualidade ambiental (NQA, Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de Setembro). São considerados os seguintes elementos:

- metais pesados – cádmio, chumbo, mercúrio e níquel;
- pesticidas identificados com os números (1), (3), (9), (8), (13), (14), (19), (18), (26), (29), (33) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE);
- poluentes industriais identificados com os números (2), (4), (7), (22), (24), (25), na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE), compostos

- organoclorados (incluindo SCCP, Tri (tricloroetileno)<sup>68</sup>, PER (Tetracloroetileno)<sup>69</sup>, DCM (Diclorometano)<sup>70</sup>, Clorofórmio<sup>71</sup>, 1,2-Dicloroetano<sup>72</sup>, PentaBDE, DEHP<sup>73</sup>;
- outros poluentes – DDT<sup>74</sup>, HCB (Hexaclorobenzeno)<sup>75</sup>, HCBd (Hexaclorobutadieno)<sup>76</sup>, TBT (Compostos de tributileno)<sup>77</sup>, PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos)<sup>78</sup>, incluindo o Fluoranteno<sup>79</sup>, PCP (Pentaclorofenol)<sup>80</sup>, TCB (Triclorobenzeno)<sup>81</sup>, drinas (Aldrina, Dieldrina, Endrina e Isodrina)<sup>82</sup>;
  - outros poluentes nacionais.

As normas de qualidade ambiental (NQA) têm como objectivo o controlo da poluição, estabelecendo níveis máximos de concentração de determinadas substâncias na água, nos sedimentos e no biota. Assim, através do Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de Setembro, estabelecem-se normas de qualidade ambiental para determinados poluentes classificados como substâncias prioritárias às quais foi atribuída prioridade de acção, bem como para outras substâncias designadas «outros poluentes». São ainda estabelecidas especificações técnicas para a análise e monitorização químicas do estado da água, no que respeita às substâncias acima referidas, a observar pelos laboratórios, transpondo parcialmente a Directiva n.º 2009/90/CE, que estabelece as especificações técnicas para a análise e monitorização químicas do estado da água, e procedendo à regulamentação parcial do n.º 6 do artigo 54.º da Lei da Água.

O sistema de classificação do estado ecológico das massas de água naturais é composto por cinco classes: excelente, bom, razoável, medíocre, e mau. A classificação do potencial ecológico é definida por quatro classes: bom ou superior, razoável, medíocre e mau. Os valores destas classes são controlados por listas codificadas. No MDG é declarada a associação entre as classes referentes às massas de água. A classificação do seu estado faz-se com base num sistema de codificação baseado no atributo *CodHidro* (código alfanumérico único nacional que identifica univocamente cada massa de água).

---

<sup>68</sup> Lista II da Directiva 76/46//CEE e Anexo I, Parte B da Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água (COM (2006) 397 final, de 17/7/2006).

<sup>69</sup> Lista II da Directiva 76/46//CEE e Anexo I, Parte B da Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água (COM (2006) 397 final, de 17/7/2006).

<sup>70</sup> Identificado com o n.º (11) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>71</sup> Identificado com o n.º (32) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>72</sup> Identificado com o n.º (10) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>73</sup> Identificado com o n.º (12) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>74</sup> Lista II da Directiva 76/46//CEE e Anexo I, Parte B da Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água (COM (2006)397 final, de 17/7/2006).

<sup>75</sup> Identificado com o n.º (16) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>76</sup> Identificado com o n.º (17) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>77</sup> Identificado com o n.º (30) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>78</sup> Identificado com o n.º (28) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>79</sup> Identificado com o n.º (15) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>80</sup> Identificado com o n.º (27) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>81</sup> Identificado com o n.º (31) na 1.ª coluna do Anexo X da DQA (Anexo da Decisão 2455/2001/CE).

<sup>82</sup> Lista II da Directiva 76/46//CEE e Anexo I, Parte B da Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água (COM(2006)397 final, de 17/7/2006).

Os artigos 50.º e 51.º da LA estabelecem os critérios para a existência de excepções ao cumprimento dos objectivos ambientais das massas de água, designadas por derrogações e prorrogações. O artigo 52.º estabelece, por sua vez, as condições de aplicação dessas excepções, impondo critérios para a sua aplicação. Nesse sentido foram consideradas no MDG as classes *Derrogacoes* e *Prorrogacoes*. Estas classes estão associadas a todas as categorias de massas de água através de um sistema de codificação que tem por base o código nacional público permanente da massa de água referenciada (*CodHidro*).

Este tipo de excepções são um factor significativo para o planeamento e gestão do estado das massas de água, na medida em que constituem o produto da análise de elementos como: a avaliação do estado químico e ecológico da massa de água superficial, a avaliação custo-benefício (ACB) e custo-eficácia (ACE) das eventuais medidas a implementar, e as condições e prazos para se atingirem os objectivos ambientais preconizados na legislação aplicável.

Para cada categoria e tipo de massas de água é aferida a classificação dos parâmetros que integram os três tipos de elementos de qualidade, os poluentes específicos, e as substâncias prioritárias e perigosas. Para concretizar a aferição dos parâmetros são determinados pontos de amostragem nos quais se aplicam os protocolos de amostragem próprios. Os pontos de amostragem são concretizados no modelo de dados como estações de monitorização.

De acordo com o definido no anexo V da DQA e no anexo VI da Lei da Água, são considerados três tipos de programas de monitorização: destinados a massas de águas superficiais, destinados a zonas protegidas, e destinados a águas subterrâneas.

Nas secções seguintes descreve-se as classes que participam nos referidos diagramas.

### **Elementos de qualidade para classificação das massas de água superficiais**

As características do estado de qualidade das águas superficiais e potencial ecológico, a atingir nos termos do disposto no n.º 3 do artigo 46.º da LA, são fixadas por diploma regulamentar, tendo em conta o disposto no anexo V do Decreto-Lei DL 77/2006 que define que os elementos de qualidade para a classificação do estado ecológico das massas de água naturais e para a classificação do potencial ecológico. Optou-se por agrupar todos os elementos de qualidade observáveis em todas as categorias de massas de água superficiais, tanto que respeita ao estado ecológico, como ao potencial ecológico.

Os quadros dos elementos de qualidade, referentes às diversas categorias de massas de água, não se encontram referenciados na legislação (Decreto-Lei n.º 77/2006) com um número que os identifique univocamente. Optou-se assim por os referenciar pelo nome, utilizando como prefixo o nome da categoria de massa de água a que dizem respeito. Por exemplo no caso dos rios: *EstadoEcologicoRios*. Salienta-se que o mesmo elemento de qualidade não tem o mesmo significado em categorias de massa de água distintas.

O INAG, enquanto entidade nacional responsável pela implementação da DQA em Portugal, definiu os critérios para a classificação do Estado das Massas de Água a utilizar na 1ª geração dos PGRH (INAG, 2009b). Estes critérios são sobretudo resultado da 1ª fase do exercício de intercalibração (Decisão da Comissão 2008/915/CE), e seguem as orientações estabelecidas pela Comissão Europeia (*European Commission*, 2003a). Os critérios estabelecidos serão progressivamente definidos para as restantes categorias de massas de água (transição, costeiras, e subterrâneas), e actualizados com os resultados da 2ª fase do exercício de intercalibração (previstos disponibilizar em 2014 e 2015).

O processo de classificação do estado de uma massa de água inicia-se na análise das séries temporais disponíveis sobre os parâmetros que lhe aplicam, e finaliza com a atribuição do estado geral da massa de água. A Figura 40 ilustra o processo de classificação de uma massa de água superficial.

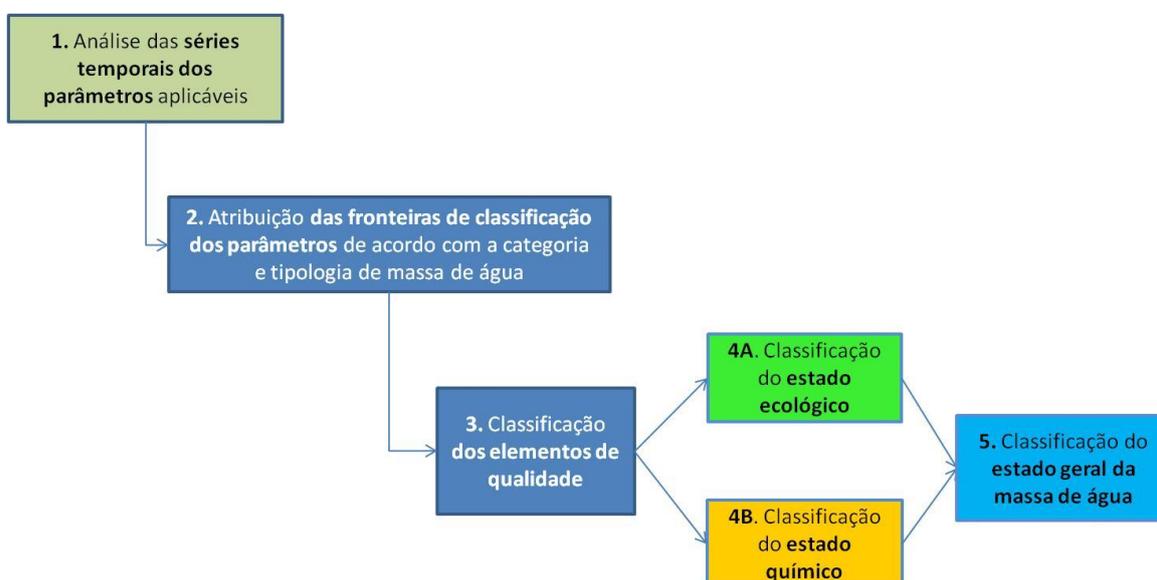


Figura 40. Resumo do processo de classificação das massas de água

Posteriormente à análise das séries temporais dos parâmetros aplicáveis à categoria de massa de água analisada, passa-se à atribuição dos limiares de classificação de cada um dos parâmetros considerados. Caso se tratem de parâmetros relativos aos elementos de qualidade biológica, são consideradas cinco classes: de excelente a mau, o que implica definir 4 limiares: excelente-bom, bom-razoável, razoável-medíocre, e medíocre-mau. Com base nos limiares de classificação dos parâmetros estes são agrupados nos respectivos elementos de qualidade e classificados aplicando o princípio *One out - All out*, o que origina a classificação do estado ecológico e estado químico da massa de água. O estado geral da massa de água será obtido aplicando o mesmo princípio entre a classificação do estado ecológico e químico, o que conduz à atribuição de uma classe de estado geral da massa de água. Caso a massa de água seja natural é-lhe atribuída a uma classificação entre excelente e mau. Caso seja fortemente modificada ou artificial é-lhe atribuída uma classificação entre bom e mau. O processo resume-se nas seguintes etapas:

1. interpretação das séries temporais dos parâmetros de qualidade (incluindo os parâmetros biológicos intercalibrados);
2. classificação dos parâmetros de qualidade (considerando os valores máximos admissíveis, recomendados e os limites das classes de estado);
3. classificação dos elementos de qualidade (biológica, químicos e físico-químicos, e hidromorfológicos) com base na classificação dos seus parâmetros aplicando o princípio *One-out, All-out*;
4. classificação do estado ecológico e químico, de acordo com as categorias de massas de água;
5. classificação do estado geral das massas de água.

O estado de uma massa de água de superfície é definido em função do pior dos dois estados, ecológico ou químico. A Figura 41 representa o sistema de classificação e a forma como os elementos de qualidade devem ser combinados para classificar o estado ecológico e químico, e obter, por combinação destes, o estado geral da massa de água superficial aplicando o princípio “*One out – All out*”. Saliencia-se o facto do Decreto-Lei 77/2006 apresentar incoerências quanto à classificação dos elementos de qualidade hidromorfológica face ao exposto na Figura 41, na medida em estabelece para estes cinco classes de classificação, em contraponto com as duas classes previstas em UK TAG (2007). O mesmo tipo de incoerência verifica-se para os casos dos poluentes sintéticos específicos e não sintéticos específicos. Regista-se ainda a falta de clareza, no método relativo à forma de conjugação de elementos de qualidade classificados com um diferente número de classes. Existem elementos de qualidade que são classificados por 5 classes (como é o caso dos elementos de qualidade biológica), outros por 3 classes (elementos de qualidade química e físico-química geral), e outros ainda por 2 classes (elementos de qualidade hidromorfológica e poluentes específicos).

Interessa referir neste âmbito que o MDG foi desenvolvido de acordo com os critérios definidos no Decreto-Lei n.º 77/2006, que sugere a classificação com base em cinco classes de todos os elementos de qualidade respeitantes ao estado ecológico. Assim, a cada categoria e tipo de massa de água corresponde um estado de referência, que se expressa na classificação de “excelente” em todos os elementos de qualidade. O estado ecológico de referência corresponde à ausência de pressões antropogénicas significativas, ocorrendo apenas pequenas alterações biológicas, físico-químicas e hidromorfológicas. Para as massas de água classificadas abaixo de Bom, serão definidos, no âmbito da elaboração dos PGRH, os programas de medidas que permitirão a recuperação dos parâmetros de qualidade responsáveis por tal classificação. Quando se está perante uma classificação do potencial ecológico a classe “excelente” é eliminada e a classe “bom” é classificada como “bom ou superior”.

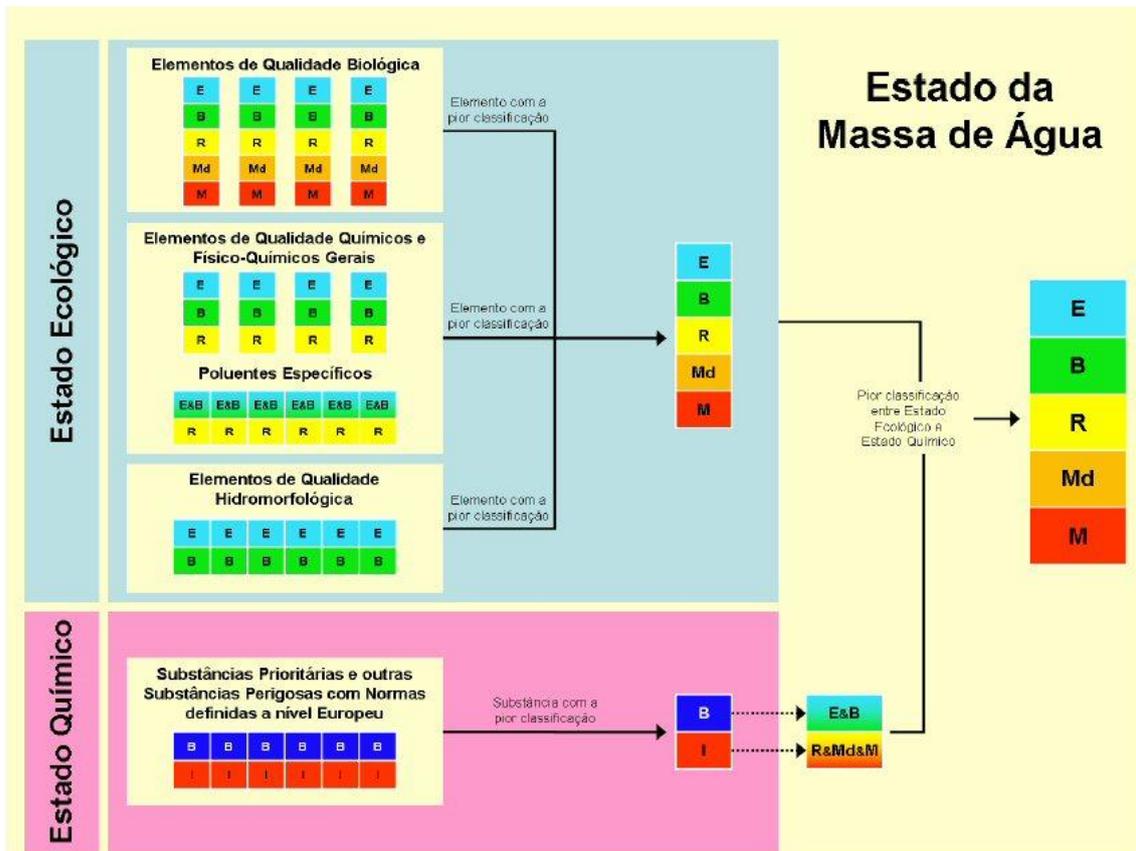


Figura 41. Esquema de classificação dos elementos de qualidade no âmbito da implementação da DQA/LA (UK TAG, 2007 in INAG, 2009a)

Numa fase inicial do desenvolvimento do modelo conceptual de dados não foi considerada a classificação dos parâmetros individualmente, mas antes a classificação final de cada elemento de qualidade consoante a categoria de massa de água superficial a que se aplicava, tal como demonstra a Figura 42.

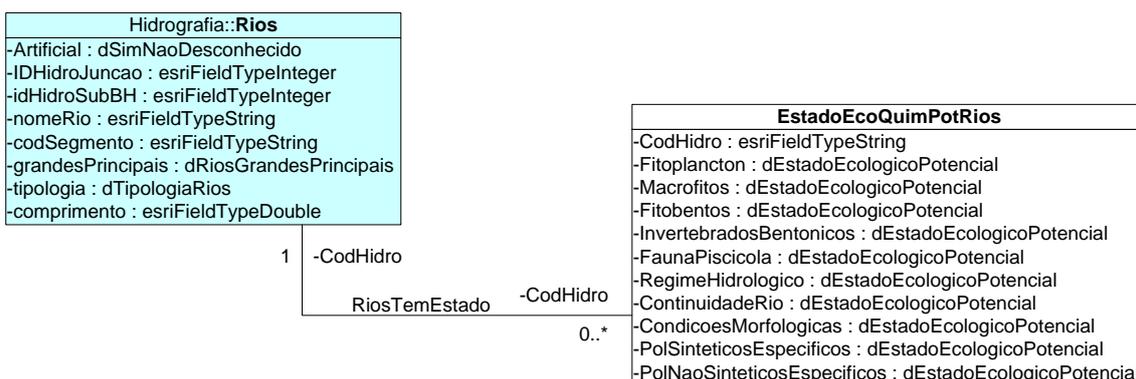


Figura 42. Extracto do diagrama de classes sobre a classificação dos elementos de qualidade para massas de água rios

Tal facto não permitia registar a classificação individual de cada parâmetro com base nas suas séries temporais e de acordo com a categoria e tipologia aplicável. Esse desenho inicial justificava-se porque a classificação do elemento de qualidade é feita por massa de água, e não por estação de monitorização, como é o caso dos parâmetros de qualidade. Ainda assim, com

base no esquematizado na Figura 41, foi necessário classificar cada parâmetro individualmente e não apenas o elemento de qualidade resultante (que agrupa diversos parâmetros). Aliás é necessário conhecer, e reportar ao WISE, quais os elementos de qualidade responsáveis pelo estado da massa de água. Este conhecimento também possibilita uma melhor definição de medidas e programas de monitorização para os casos em que o nível de confiança é baixo.

O carregamento e manipulação de centenas de registos de valores de parâmetros na base de dados geográficos tornou mais clara a noção de que seria mais eficiente e rigoroso modelar os valores das séries temporais dos parâmetros, do que a classificação desses parâmetros de acordo com a tipologia e categoria de massa de água. Assim, optou-se por não considerar classificações dos parâmetros individualmente em cada estação de monitorização, uma vez que estes teriam de ser modelados para suportar as classificações dos elementos de qualidade em cada massa de água. Sendo possível atribuir a cada massa de água o estado ecológico e químico dos elementos de qualidade que se lhes aplicam, existem três níveis de registo do estado das massas de água:

1. por elemento de qualidade;
2. por estado ecológico ou químico geral (que resulta da comparação dos vários elementos de qualidade aplicáveis);
3. por estado geral da massa de água (que resulta da comparação do estado ecológico geral, com o estado químico geral).

Assim, por cada massa de água, e através do atributo (*CodHidro*), as tabelas com o prefixo “*EstadoEcoPot\**” são preenchidas com recurso a listas codificadas da classe dos parâmetros de qualidade e estado geral químico e ecológico.

### **4.5.3 Diagrama de classes sobre os regimes de excepção aplicados às massas de água**

Os regimes de excepção estão previstos no âmbito da elaboração dos PGBH (Art.º 29.º da LA), nomeadamente através do reconhecimento, especificação e a fundamentação das condições que justifiquem:

- a extensão de prazos para a obtenção dos objectivos ambientais;
- a definição de objectivos menos exigentes;
- a deterioração temporária do estado das massas de água;
- a deterioração do estado das águas;
- o não cumprimento do bom estado das águas subterrâneas ou do bom estado ou potencial ecológico das águas superficiais;

De acordo com o artigo 51.º da LA, a deterioração temporária do estado das massas de água não é considerada um incumprimento dos objectivos estabelecidos em conformidade com a LA desde

que, além dos requisitos do artigo 52.º, se observem os requisitos dos n.ºs 3 e 4 e se a mesma resultar de:

- circunstâncias imprevistas ou excepcionais; ou
- causas naturais ou de força maior que sejam excepcionais ou não pudessem razoavelmente ter sido previstas, particularmente inundações extremas e secas prolongadas; ou
- circunstâncias devidas a acidentes que não pudessem ter sido razoavelmente previstas.

A deterioração temporária admitida no n. 2 só se considera justificada desde que estejam preenchidos os seguintes requisitos:

- sejam tomadas todas as medidas para evitar uma maior deterioração do estado das águas e para não comprometer o cumprimento dos objectivos ambientais noutras massas de água não afectadas por essas circunstâncias;
- se encontrem indicadas no plano de gestão de bacia hidrográfica as condições em que podem ser declaradas as referidas circunstâncias imprevistas ou excepcionais, incluindo a adopção dos indicadores apropriados;
- as medidas a tomar nestas circunstâncias excepcionais estejam incluídas no programa de medidas e não comprometam a recuperação da qualidade da massa de água quando essas circunstâncias deixarem de se verificar.

De acordo com o n.º 4 e no n.º 5 do artigo 51.º da LA (n.º 7 do Artigo 4.º da DQA) não se considerará que os Estados-Membros tenham violado o disposto quando: o facto de não se restabelecer o bom estado das águas subterrâneas, o bom estado ecológico ou, quando aplicável, o bom potencial ecológico, ou de não se conseguir evitar a deterioração do estado de uma massa de águas de superfície ou subterrâneas, resultar de alterações recentes das características físicas de uma massa de águas de superfície ou de alterações do nível de massas de águas subterrâneas, ou o facto de não se evitar a deterioração do estado de uma massa de água de excelente para bom resultar de novas actividades humanas de desenvolvimento sustentável, e se encontrarem preenchidas todas as seguintes condições:

- que sejam tomadas todas as medidas exequíveis para mitigar o impacto negativo sobre o estado da massa de água;
- que as razões que explicam as alterações estejam especificamente definidas e justificadas no plano de gestão de bacia hidrográfica e sejam revistos de seis em seis anos;
- que as razões de tais modificações ou alterações sejam de superior interesse público e/ou os benefícios para o ambiente e para a sociedade decorrentes da realização dos objectivos definidos sejam superados pelos benefícios das novas modificações ou alterações para a saúde humana, para a manutenção da segurança humana ou para o desenvolvimento sustentável; e

- que os objectivos benéficos decorrentes dessas modificações ou alterações da massa de água não possam, por motivos de exequibilidade técnica ou de custos desproporcionados, ser alcançados por outros meios que constituam uma opção ambiental significativamente melhor.

Quer os registos de não violação, quer os de deterioração temporária, estão associados às categorias de massas de água através do código público nacional da massa de água (*CodHidro*). Associadas às classes de não violação e de deterioração temporária está a classe de medidas adicionais. São consideradas medidas adicionais as que devem ser aplicadas às massas de água onde não é provável que sejam alcançados os objectivos ambientais apesar de já terem sido tomadas medidas consideradas adequadas, bem como às massas de água em que é necessário corrigir os efeitos da poluição acidental. As medidas adicionais devem ser precedidas de:

- investigação das causas de não terem sido alcançados os objectivos fixados para as massas de água;
- análise e a revisão das licenças e das autorizações relevantes, conforme for adequado;
- revisão e o ajustamento dos programas de monitorização, conforme adequado;
- estabelecimento de normas de qualidade ambiental adequadas, segundo os procedimentos fixados no Anexo V do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março.

Não será necessário tomar medidas adicionais se os objectivos ambientais não forem cumpridos devido a causas naturais ou a circunstâncias de força maior que sejam excepcionais e não pudessem ter sido previstas, nomeadamente inundações extremas e secas prolongadas, desde que se verifiquem todas as condições de derrogação dos objectivos ambientais em caso de circunstâncias imprevistas ou excepcionais. A Figura 43 representa o diagrama de classes relativo aos regimes de excepção referentes às águas superficiais.

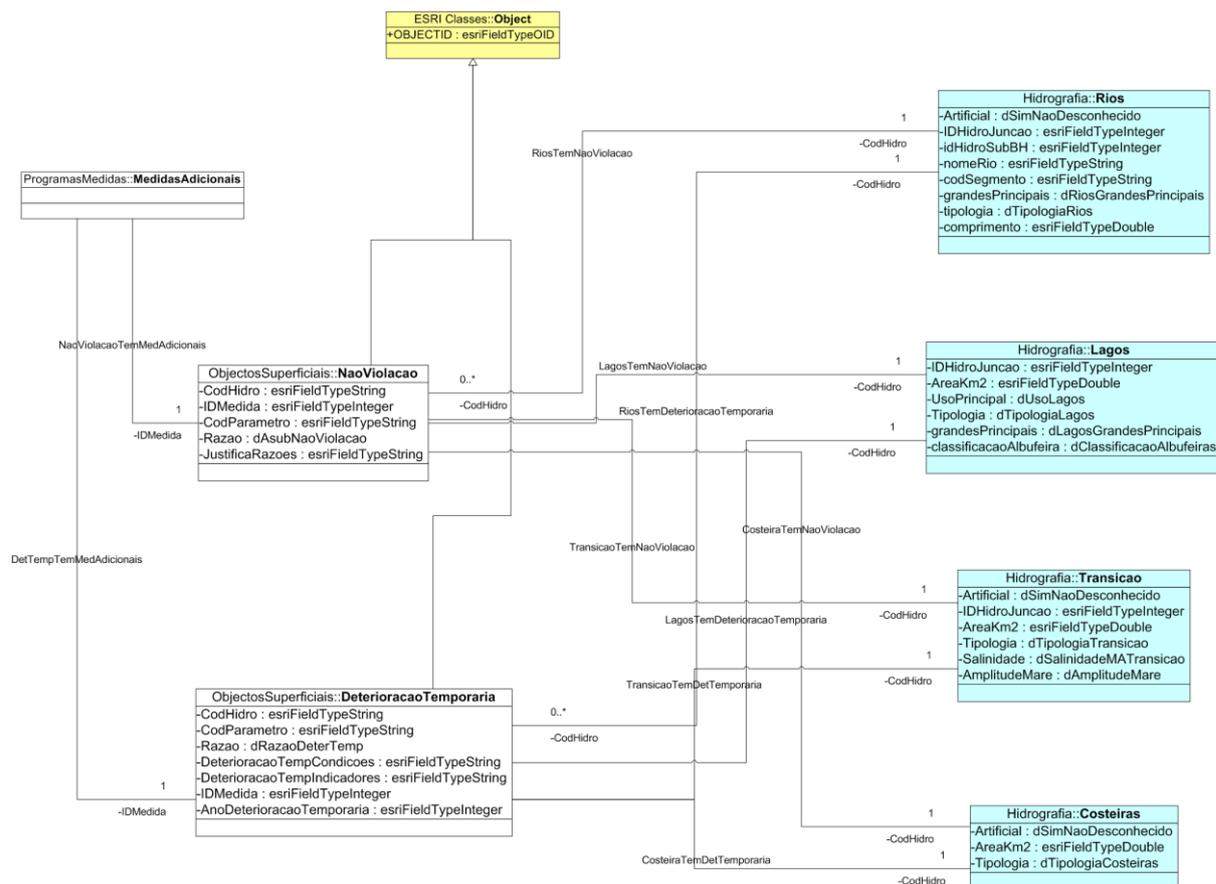


Figura 43. Diagrama de classes UML referente à deterioração temporária e não violação dos objectivos ambientais

#### 4.6 Pacote UML relativo a séries temporais

A constituição do conceito de massa de água como unidade de caracterização e análise resulta da implementação da DQA, no âmbito da qual é imposto que as massas de água sejam alvo de monitorização de forma a aferir o seu estado.

Para cumprir esse objectivo foram estabelecidas pela ARH do Algarve, I.P. redes de monitorização de vigilância e operacionais, cuja adequabilidade é avaliada no âmbito da elaboração do PGBH. Desta análise resulta a proposta de programas de monitorização (de vigilância, operacionais e de investigação), com o objectivo de planear a recolha selectiva de dados sobre os parâmetros já estabelecidos legalmente para cada categoria de massa de água. O planeamento dos programas de monitorização decorre sobretudo da análise dos dados existentes e da consequente identificação de lacunas de informação, nomeadamente para a classificação do estado das massas de água.

Também a definição de medidas que permitam atingir o bom estado das massas de águas passa pela execução de programas de monitorização que permitam analisar a eficácia e eficiência

dessas medidas. Nesse sentido, os programas de monitorização baseiam-se nas estações de monitorização (locais de amostragem), onde são recolhidos dados que permitirão aferir o efeito das medidas a implementar/implementadas. Assim, também é objectivo dos programas de monitorização assegurar que o número de estações de monitorização, os parâmetros indicativos dos elementos de qualidade e as frequências de monitorização, sejam suficientes para aferir o estado de cada massa de água e zona protegida, de forma a dar cumprimento ao Decreto-Lei n.º 77/2006.

Perante o exposto e tal como referido no diagrama de classes referente aos programas de monitorização, cada elemento de qualidade contém um conjunto de parâmetros dos quais é necessário obter valores registados em séries temporais. A Figura 44 apresenta o diagrama de classes respeitante à caracterização das séries temporais dos parâmetros monitorizados.

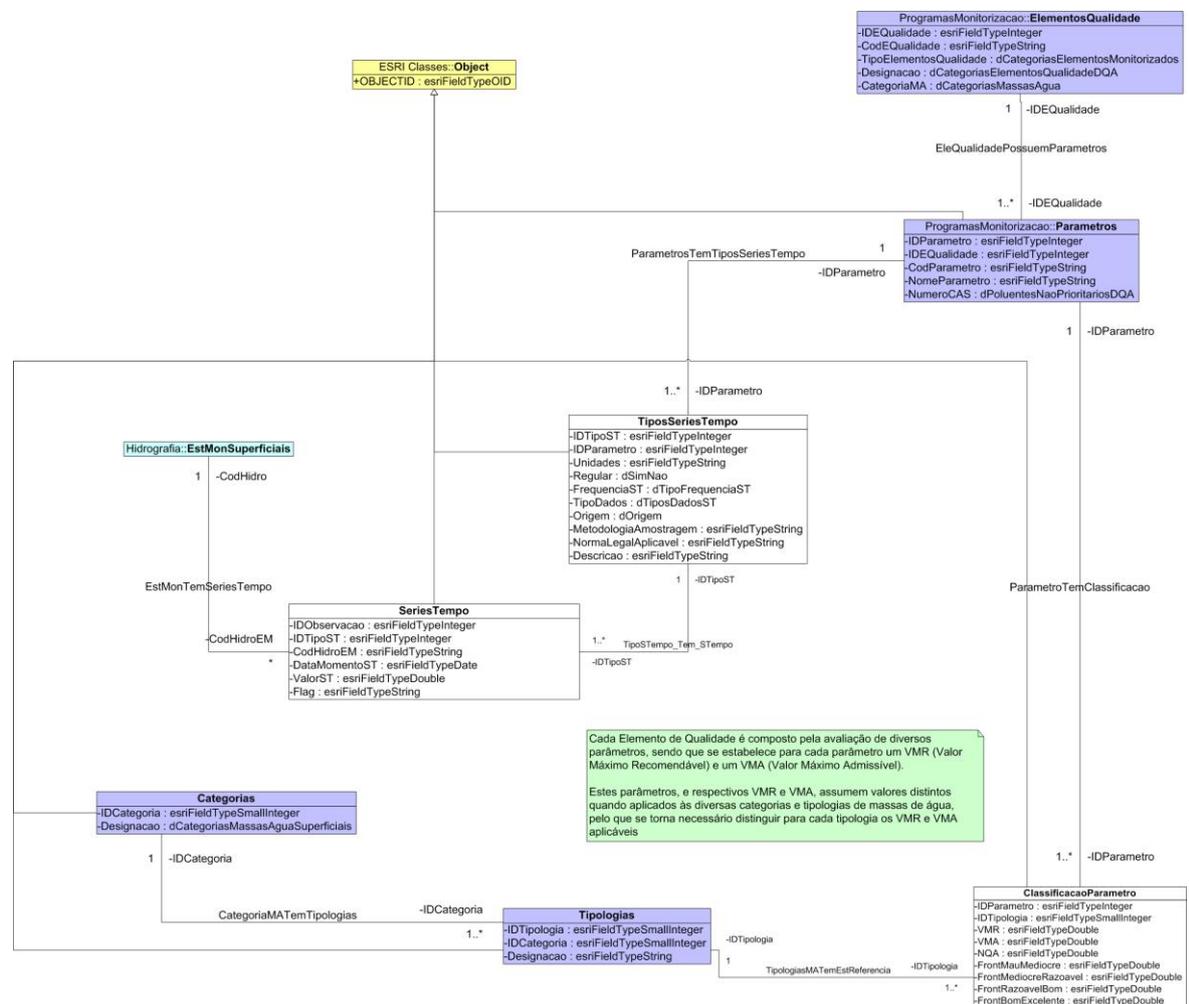


Figura 44. Diagrama de classes respeitantes ao registo de observações das estações de monitorização e parâmetros monitorizados em águas superficiais

Na conceptualização adoptada, um parâmetro pode conter um ou mais tipos de séries temporais, sendo que cada tipo (representados pela classe *TiposSeriesTempo*) relacionar-se-á com os registos dos valores respeitantes (representados na classe *SeriesTempo*). Por outro lado, a série

temporal, onde se encontram registados os valores dos parâmetros, está associada ao conceito de estação de monitorização (representado no modelo pela classe *EstacoesMonitorizacao*).

De forma a poder comparar os registos dos valores observados ou medidos, com os valores de referência para esses mesmos parâmetros, consoante a categoria e tipologia de massa de água a que se aplicam, foi necessário caracterizar os parâmetros quanto às suas classificações. Esta classificação é suportada pela classe *ClassificacaoParametro*. Assim, de acordo com cada tipologia de massa de água, estabelecem-se os valores máximos recomendados (VMR) e admissíveis (VMA), quando se tratem de substâncias químicas (prioritárias e perigosas) e os valores das fronteiras (limiares) de classificação.

De salientar a existência de uma associação com a classe respeitante às estações de monitorização (pontos de amostragem), bem como associações com os diferentes tipos de pressões antropogénicas que afectam o estado das massas de água. As séries temporais registadas nas estações de monitorização possuem um diagrama de classes próprio, no qual é declarada a associação entre a classe parâmetros e a classe relativa aos tipos de séries temporais. É ao nível da classe de tipos de séries temporais (*TipoSeriesTempo*) que se caracteriza a frequência de amostragem e o método utilizado para obtenção dos valores observados dos parâmetros.

No MDG as classificações dos elementos de qualidade são diferenciadas por categoria de massa de água, pelo que será sempre possível obter, através de uma interrogação à base de dados, que massas de água foram alvo de amostragem e que parâmetros foram observados, monitorizados ou estimados, podendo ainda ter-se acesso às séries temporais desses parâmetros. Da mesma forma se saberá que massas de água não são alvo de amostragem e por conseguinte é necessário extrapolar a classificação do seu estado.

## **4.7 Pacote UML relativo a programas de medidas**

Os programas de medidas estão definidos no art. 11.º da DQA, sendo referido o tipo de informação a coligir durante a elaboração dos PGRH no ponto 7 (da parte A) do anexo VII. A portaria 1284/2009 de 19 de Outubro detalha os critérios a que deve obedecer e o seu objecto. A LA dedica-lhes o artigo 30.º, sendo regulamentados no artigo 5.º do Decreto-Lei 77/2006. Os programas de medidas consideram um conjunto de acções a aplicar às massas de água e às zonas protegidas, tipificadas em: medidas de base, medidas suplementares, medidas adicionais e outras medidas.

Conceptualmente, os programas de medidas relacionam-se, num primeiro nível, com as massas de água ou com as sub-bacias hidrográficas dessas massas de água. Num segundo nível, relacionam-se com as pressões antropogénicas que afectam essas massas de água e num terceiro nível, com a análise económica das utilizações da água e a análise custo-eficácia (ACE)

dessas utilizações. No entanto, além destes níveis de relação, podem ainda ser identificadas associações com:

- instrumentos facilitadores da implementação das medidas;
- agentes económicos responsáveis pela implementação das medidas;
- estações de monitorização, cujos dados permitem aferir sobre o efeito das medidas implementadas;
- prorrogações e derrogações associadas ao alcance do bom estado e bom potencial das massas de água até 2015 (de acordo com o ponto 4 do artigo 4.º da DQA).

Assim, os programas de medidas aplicam-se a uma massa de água ou conjunto de massas de água que sofrem pressões cujo impacto pode ameaçar o alcance ou manutenção do bom estado geral da massa de água. O estado das massas de água é monitorizado em estações de monitorização, possibilitando assim analisar tendências e antecipar ajustes nas próprias medidas previstas. Mediante a análise económica da utilização da água, os programas de medidas estabelecem o carácter (nomeadamente geográfico, financeiro, e ambiental) das medidas a aplicar. Estes programas podem envolver certos agentes económicos com responsabilidade ou co-responsabilidades na sua implementação.

Caso o programa de medidas implique um esforço substancial considerado desproporcionado face ao retorno económico potencial que gera, pode proceder-se a uma prorrogação do prazo, para que se atinja um bom estado da massa de água, ou a uma derrogação, que adopta objectivos ambientais menos exigentes. De qualquer forma, a DQA prevê que, no máximo até 2027, seja atingido o bom estado de todas as massas de água.

Os programas de medidas estão definidos no MDG, através de um pacote UML específico, sendo este constituído por dois diagramas de classes.

#### **4.7.1 Diagrama de classes sobre programas de medidas**

Na declaração do modelo lógico dos programa de medidas, colocaram-se sobretudo duas grandes opções:

1. considerar-se-ia a representação geográfica da aplicação das diversas medidas (de base, suplementares e adicionais), atribuindo-lhes uma representação geográfica consoante o tipo de medida em causa;
2. considerar-se-ia a associação de cada medida com as massas de água, pressões significativas, zonas vulneráveis, zonas de máxima infiltração e outras entidades geográficas a que se aplicam as medidas.

Dada a infinidade de representações geográficas que o universo de medidas potenciais poderia assumir, optou-se por caracterizar alfanumericamente as medidas potenciais (que constituem o catálogo de medidas a aplicar) e associá-las, quando aplicáveis, às classes de entidades geográficas já consideradas no modelo (opção 2). Neste sentido, apesar das medidas possuírem sobretudo um carácter de implementação espacial, dado que são implementadas ao nível de uma região hidrográfica ou parte desta, o seu relato, perante o WISE, é sobretudo alfanumérico. Assim, apesar dos programas de medidas não possuírem uma representação geográfica directa, possuem evidentemente uma associação às entidades geográficas às quais se aplicam. A título de exemplo, a delimitação dos perímetros de protecção a captações pode ser alvo da medida (de base) de condicionamento à edificação. Pelo que, apesar da medida não possuir em si uma representação geográfica, está conceptualmente associada ao perímetro de protecção da captação de água, o qual possui uma representação geográfica própria. As associações das medidas a entidades geográficas estão declaradas no diagrama de classes descrito na secção 4.7.2.

A Figura 45 ilustra a hierarquia entre os programas de medidas. O diagrama de classes revela que cada programa de medidas poderá conter uma ou mais medidas. Cada programa de medidas é caracterizado por um identificador numérico e por um código textual público nacional, estando relacionado com a região hidrográfica a que se aplica, através de um código que relaciona o programa de medidas com a região hidrográfica. Neste sentido, cada região contém programas de medidas próprios, que no entanto se podem repetir em outras regiões hidrográficas.

Uma nota deve ainda ser dada sobre o relacionamento dos programas de medidas com os instrumentos de planeamento. A grande maioria das medidas que deverão constar dos PGRH, encontram-se já incluídas em planos e programas desenvolvidos a nível nacional e regional, nomeadamente:

- plano nacional orgânico para melhoria das origens superficiais de água destinada à produção de água potável;
- plano nacional orgânico para a melhoria das águas balneares não conformes;
- programas de acção para zonas vulneráveis;
- programas de acção específicos para evitar ou eliminar a poluição de águas por substâncias perigosas;
- planos de gestão de região hidrográfica (PGRH);
- planos específicos de gestão da água (PEGA);
- plano nacional da água (PNA).

Muitos destes planos e programas resultam da transposição para a ordem jurídica interna de parte, ou do todo, de diversas directivas comunitárias, nomeadamente:

- directiva n.º 76/160/CEE, relativa à qualidade das águas balneares;
- directiva n.º 79/409/CEE, relativa à conservação das aves selvagens;
- directiva n.º 80/778/CEE, alterada pela directiva n.º 98/83/CE, relativa às águas destinadas ao consumo humano;
- directiva n.º 96/82/CE, relativa aos riscos de acidentes graves (Seveso);
- directiva n.º 85/337/CEE, relativa à avaliação de efeitos no ambiente;
- directiva n.º 86/278/CEE, relativa às lamas de depuração;
- directiva n.º 91/271/CEE, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas;
- directiva n.º 91/414/CEE, relativa aos produtos fitofarmacêuticos;
- directiva n.º 91/676/CEE, relativa aos nitratos;
- directiva n.º 92/43/CEE, relativa aos habitats;
- directiva n.º 96/61/CE, relativa à prevenção e ao controlo integrado da poluição.

As medidas preconizadas por outras figuras de planeamento são registadas numa tabela representada pela classe *MedidasPrevistas*. Desta forma fica facilitada a análise do nível de complementaridade das medidas.

A interpretação do diagrama de classes representado na Figura 45 revela que cada **programa de medidas** poderá conter uma ou mais medidas. Cada programa de medidas é caracterizado por um identificador numérico e por um código textual público nacional, estando relacionado com a região hidrográfica a que se aplica, através de um código que relaciona o programa de medidas com a região hidrográfica, uma vez que cada região contém programas de medidas próprios, que no entanto se podem repetir em outras regiões hidrográficas.

Todas as medidas são registadas referindo a data prevista para o início e fim da sua implementação (atributo *InicioPrevMedida* e *FimPrevMedida*) e as respectivas datas efectivas de aplicação (atributos *InicioImplemMedida* e *FimImplemMedida*). As medidas são ainda classificadas quanto ao seu estado de implementação, através do atributo *EstadoMedida*, ao qual está afecto o domínio *dEstadoMedida* (programada, em implementação, já implementada), que resulta da comparação entre as datas previstas e efectivas da sua implementação. As datas de registo referentes à classificação das medidas são mantidas através do atributo *DataRegisto*. Mantém-se assim um histórico dos registos das medidas.

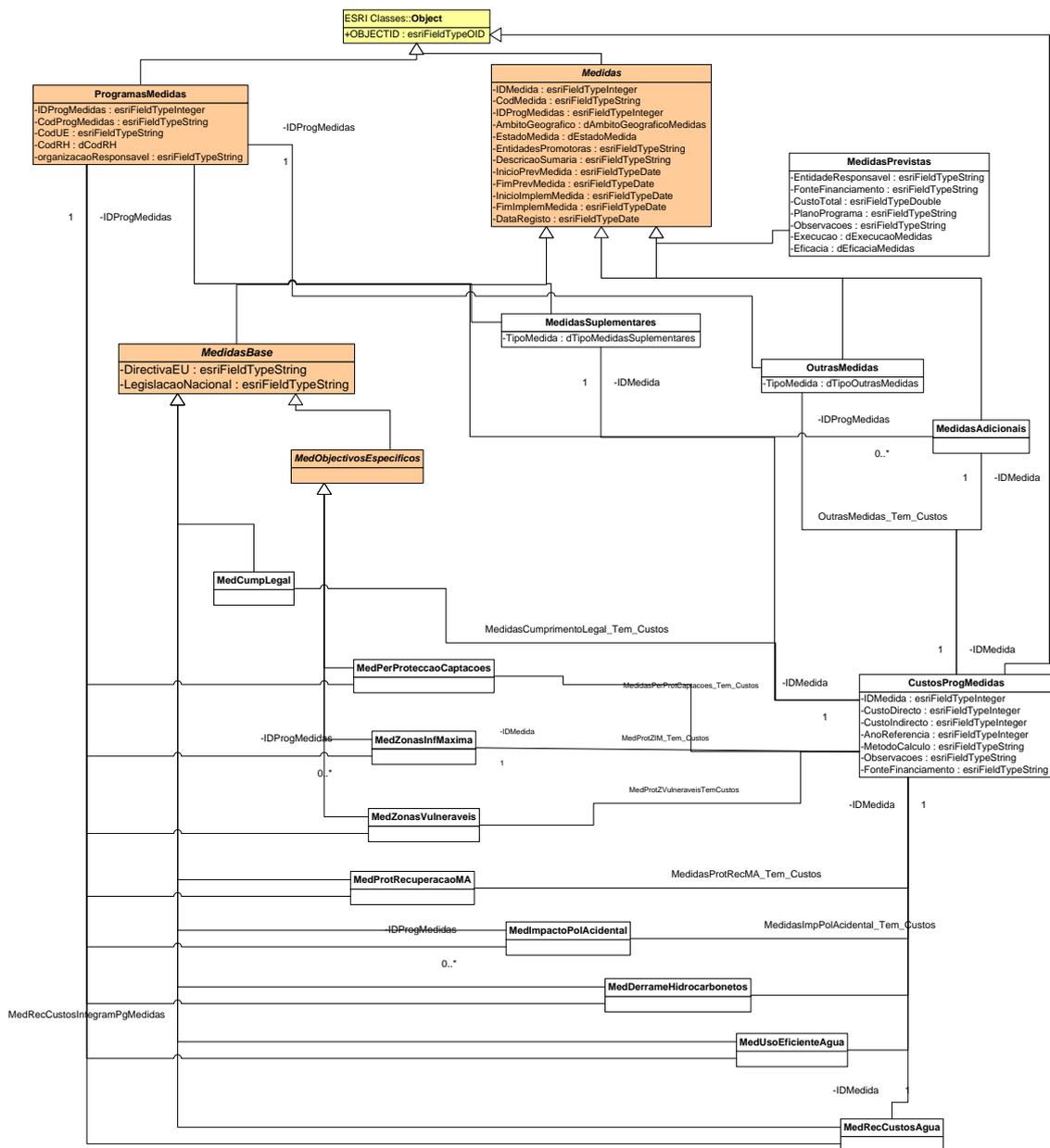


Figura 45. Diagrama de classes respeitantes aos programas de medidas

As medidas são também caracterizadas por um identificador numérico único no domínio da base de dados e por um código textual nacional permanente.

As medidas de base são os requisitos mínimos para cumprir os objectivos ambientais ao abrigo da legislação em vigor e englobam as medidas, os projectos e as acções previstos no n.º 3 do artigo 30.º da LA e o n.º 1 do artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março. As medidas de base são caracterizadas adicionalmente pelas referências ao enquadramento legal que as suporta (que engloba as directivas europeias e os diplomas nacionais) e por uma descrição sumária da medida. As medidas de base subdividem-se em:

- medidas que se destinam a condicionar as actuações e utilizações susceptíveis de perturbar os objectivos específicos das massas de água, materializadas na classe *MedObjectivosEspecificos*;
- medidas de protecção, de melhoria e de recuperação das massas de água, materializadas na classe *MedProtRecuperacaoMA*;
- medidas de prevenção ou redução do impacte de casos de poluição accidental, materializadas na classe *MedImpactoAcidental*;
- medidas a serem tomadas na sequência de derrames de hidrocarbonetos ou outras substâncias perigosas, materializadas na classe *MedDerrameHidrocarbonetos*;
- medidas de promoção do uso eficiente e sustentável da água, materializadas na classe *MedUsoEficienteAgua*;
- medidas para a recuperação dos custos dos serviços da água, incluindo os custos ambientais e de escassez, materializadas na classe *MedRecCustosAgua*.

As medidas base de objectivos específicos relacionam-se directamente com as entidades geográficas de protecção especial:

- perímetros de protecção a captações e zonas adjacentes;
- zonas de infiltração máxima;
- zonas vulneráveis à poluição por nitratos.

Estas associações estão caracterizadas no diagrama de classes referente a *AlvosMedidas* (vide secção 4.7.2).

O n.º 6 do art.30º da LA refere que os PGBH integram outras medidas suplementares para conseguir uma maior protecção ou uma melhoria adicional das águas abrangidas pela presente lei sempre que tal seja necessário para o cumprimento de acordos internacionais relevantes. Já o art. 5.º do Decreto-Lei 77/2006, referente às medidas a incluir nos programas de medidas, determina que podem ser adoptadas as seguintes medidas suplementares:

- a) instrumentos legislativos;
- b) instrumentos administrativos;
- c) instrumentos económicos ou fiscais;
- d) acordos ambientais;
- e) controlos das emissões;
- f) códigos de boas práticas;
- g) recriação e recuperação de zonas húmidas;
- h) controlos das captações;

- i) medidas de gestão da procura, nomeadamente para promoção de métodos de produção agrícola
- j) adaptados, como, por exemplo, culturas com baixas exigências de água em zonas afectadas pela seca;
- k) medidas de eficiência e de reutilização, nomeadamente promoção de tecnologias eficazes em termos de utilização de água pela indústria e de técnicas de irrigação que permitam poupanças de água;
- l) projectos de construção;
- m) instalações de dessalinização;
- n) projectos de reabilitação;
- o) recarga artificial de aquíferos;
- p) projectos educativos;
- q) projectos de investigação, desenvolvimento e demonstração;
- r) outras medidas relevantes.

Além das medidas de base e das medidas suplementares está previsto o registo das medidas adicionais, definidas pelo art. 32º da LA e têm por objectivo:

- a conservação e reabilitação da rede hidrográfica, da zona costeira e dos estuários e das zonas húmidas;
- a protecção dos recursos hídricos nas captações, zonas de infiltração máxima e zonas vulneráveis;
- a regularização de caudais e a sistematização fluvial;
- a prevenção e a protecção contra riscos de cheias e inundações, de secas, de acidentes graves de poluição e de rotura de infra-estruturas hidráulicas.

Optou-se por denominar este tipo de medidas por adicionais, sendo que o seu registo é feito na classe *MedidasAdicionais*.

Salienta-se que todas as tipologias de medidas se encontram associadas a uma classe destinada a registar os custos de operacionalização das medidas e as análises custo-benefício e custo-eficácia das mesmas (classe *CustosProgMedidas*).

### 4.7.2 Diagrama de classes sobre o relacionamento dos programas de medidas com entidades geográficas

O diagrama de classes sobre os alvos físicos das medidas está declarado no pacote UML *ObjectivosAmbientais*, diagrama *AlvosMedidas* (*ObjectosSuperficiais::AlvosMedidas*).

A globalidade das medidas relaciona-se com entidades geográficas. No entanto, medidas como campanhas de sensibilização e de informação são relativamente ambíguas no que respeita à sua associação com entidades geográficas, sendo que, de um modo geral, tal obriga a uma certa ambiguidade no “alvo” geográfico ao qual a medida se aplica. Para o exemplo da campanha de sensibilização, poder-se-á associar à representação da região hidrográfica, ou ainda a uma área abrangida por uma associação de regantes (perímetro de rega).

De salientar que, no âmbito do controlo da aplicação das medidas e do respectivo estudo da sua avaliação custo/eficácia (ACE) e custo/benefício (ACB), deve ser possível relacionar os parâmetros dos indicadores que determinam o estado das massas de água, dado que são estes parâmetros que determinarão o ciclo de vida das medidas e o seu eventual ajuste. Importa assim referir que, conceptualmente, não existem medidas aplicadas a estações de monitorização ou pontos de amostragem, pelo que estes locais de recolha de dados reflectirão o estado das massas de água ou caracterizarão as pressões que estas sofrem. Neste contexto, o MDG possui as seguintes características:

- identificação e a caracterização das medidas necessárias para atingir os objectivos ambientais estabelecidos na legislação em vigor;
- inclusão das medidas individuais num programa de medidas;
- associação das medidas às massas de água e às entidades geográficas a que se aplicam (perímetros de protecção às captações, zonas de infiltração máxima e zonas vulneráveis).

Após a conceptualização e caracterização dos programas de medidas procedeu-se à definição das associações entre estes e as entidades físicas às quais se aplicam as medidas, nomeadamente às massas de água. Foi assim estabelecido um diagrama de classes específico para a declaração dessas associações. As associações que as classes de medidas estabelecem com as entidades geográficas presentes no MDG estão declaradas no diagrama de classes representado na Figura 46.



relacionadas. Esta desmultiplicação faz-se com base na classe *MedidasAlvos* e através dos atributos *CodMedida/CodHidro*.

O diagrama contempla as medidas de base necessárias ao cumprimento dos objectivos ambientais estabelecidos no art.º 4.º da DQA e nos art.ºs 45º a 47.º da Lei da Água, bem como os objectivos específicos da legislação nacional e comunitária de protecção das águas. Perante tal definição optou-se por considerar as zonas protegidas alvo de programas de medidas específicos, e todas as massas de águas superficiais consideradas no modelo lógico.

É de salientar que as redes de monitorização (constituídas por grupos de estações de monitorização) se relacionam conceptualmente com o programa de medidas e com as massas de água que monitorizam. No entanto, essa associação não ficou expressa ao nível do modelo de dados. Tal facto apresenta vantagens na interpretação do MDG dado que, por um lado, reduz a complexidade de associações entre entidades, e por outro, não limita a análise espacial dos fenómenos ambientais. Apesar de as medidas e os programas de medidas serem monitorizados através dos valores dos parâmetros obtidos em estações de monitorização, não é imperativo estabelecer uma associação entre as classes de medidas e as estações de monitorização, dado que as medidas já ficam associadas a massas de água que, por sua vez, são controladas por estações de monitorização.

## **4.8 Pacote UML relativo à rede hidrográfica**

A representação do escoamento com recurso a uma rede geométrica é útil na caracterização de um sistema hidrológico, na medida em que possibilita um conjunto de análises espaciais específicas que não seriam possíveis sem este tipo de representação geográfica. Optou-se assim por declarar no MDG um conjunto de classes que permitem este tipo de representação geográfica, com base num modelo geográfico vectorial topológico. Sendo os arcos e nós os principais elementos de uma rede geométrica, estes devem possuir consistência topológica para que seja garantida a construção de uma rede geométrica consistente e coerente. A representação adoptada não apresenta qualquer restrição ao nível do detalhe espacial da rede hidrográfica.

### **4.8.1 Representação da rede hidrográfica através de uma rede geométrica**

A implementação de uma rede geométrica, representativa da rede hidrográfica, apresenta as seguintes vantagens:

- é uma alternativa ao uso de regras topológicas e associações alfanuméricas;
- constitui um procedimento para assegurar a integridade e a coerência dos dados;
- constitui uma ferramenta para modelar o escoamento, caracterizando as várias formas em que ocorre, permitindo inquirir e visualizar a direcção para montante ou jusante;

- possibilita estabelecer as direcções de escoamento em sistemas fluviais, e com este procedimento, aferir sobre o percurso de poluentes, e a sua capacidade de diluição;
- permite conhecer todos os objectos que se relacionam com a rede geométrica, quer seja por via da análise espacial, quer por via de interrogação alfanumérica.

Baseou-se a declaração da rede hidrográfica em duas classes geográficas: uma que representa os arcos da rede geométrica (*SegmentosHidro*) e outra que representa os seus nós (*JuncoesHidro*). Os arcos da rede têm assim uma representação linear e os nós uma representação pontual. Os arcos da rede possuem a particularidade de registarem coordenadas Z e M, pelo que, além de representarem tridimensionalmente a localização da concentração do escoamento em cada categoria de massa de água, possibilitam também a referenciação de informação relativamente ao seu comprimento, tendo em conta um referencial de origem pré-estabelecido (coordenada M=0). O diagrama de classes que declara a rede geométrica representativa da rede hidrográfica encontra-se representado na Figura 47.

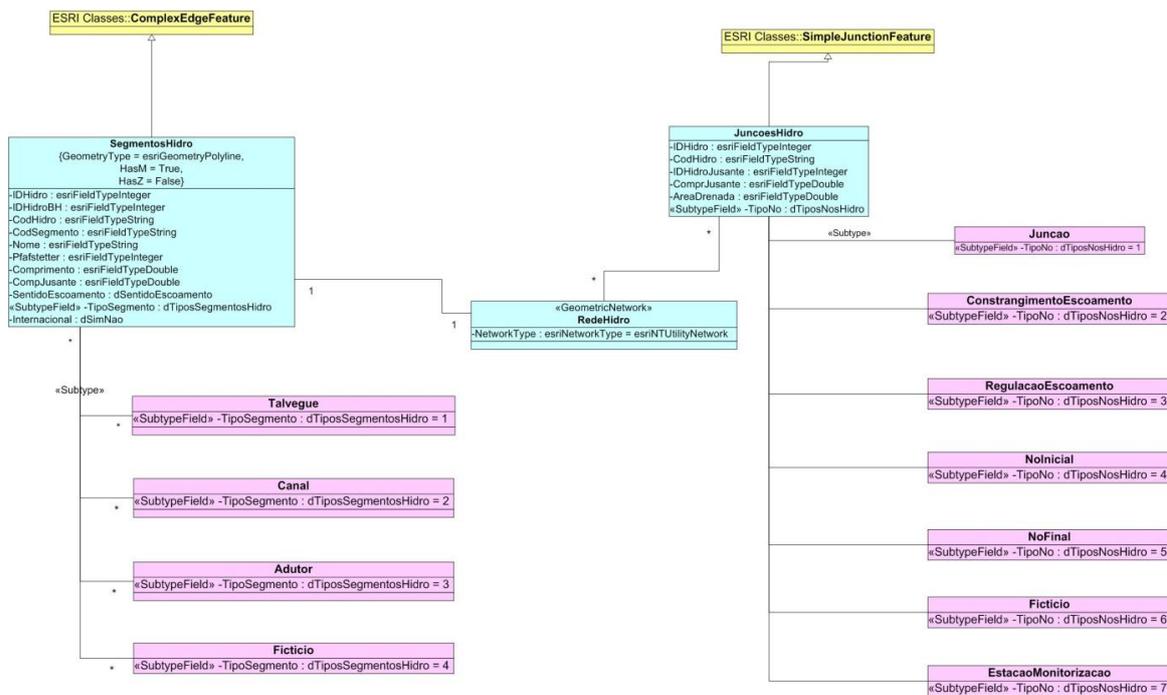


Figura 47. Diagrama de classes dos elementos da rede hidrográfica

Os arcos da rede geométrica são representados no modelo lógico pela classe *SegmentosHidro*, tendo sido declaradas diversas propriedades que caracterizam os segmentos da rede e os seus nós. Além das propriedades de identificação e codificação, foram declaradas propriedades que contribuem para a coerência e consistência da rede geométrica, sendo que algumas destas propriedades são geridas por listas codificadas.

A classe referente aos arcos da rede hidrográfica (*SegmentosHidro*) possui um conjunto de subtipos aplicáveis. Deve salientar-se que os arcos da rede hidrográfica estão previstos ser

representados no interior de todas as categorias de massas de água superficiais à excepção das águas costeiras, justificando-se tal facto pela utilidade que tem a representação do escoamento com recurso a este tipo de representação. Esse facto implica no entanto que os subtipos previstos para a classe *SegmentosHidro* sejam aplicados em conformidade. Assim, após executar testes de adequabilidade de representação estabeleceu-se que quando existem representações dos arcos da rede hidrográfica sobre massas de água superficiais referentes a lagos e águas de transição, o subtipo do arco deve ser *Ficticio*, tal como ilustra a Figura 48. Nos casos em que se está perante um canal artificial ou um adutor, devem também estes ser referenciados com recurso aos subtipos específicos para esses casos. O caso das MA rios artificiais fica assegurado através do subtipo *Canal* (representando assim os canais de rega). O subtipo *Talvegue* diz respeito à representação da linha aproximada de concentração do escoamento em massas de água rios. O mesmo se aplica a massas de água rios fortemente modificados. Em suma, o sub-tipo *Talvegue* será coincidente à representação de massas de água rios não artificiais, o sub-tipo *Canal* representará massas de água rios artificiais, o sub-tipo *Adutor* representará este tipo de infra-estrutura e o sub-tipo *Ficticio* representará a linha aproximada de concentração de escoamento no interior de massas de água lagos ou de transição.

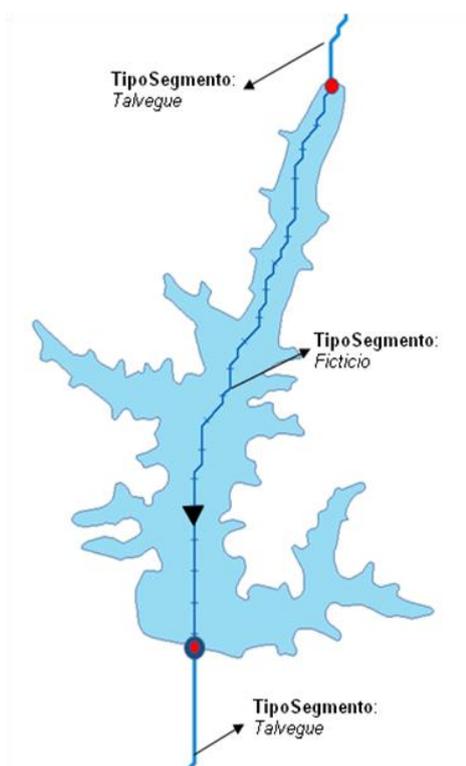


Figura 48. Representação dos tipos de segmentos da rede hidrográfica sobre massas de água lagos

Com esta opção fica assegurada a continuidade do escoamento na sua representação com recurso a uma rede hidrográfica. Este método permite assim uma gestão mais eficiente da classificação do estado da massa de água. Apenas as entidades geográficas da classe *SegmentosHidro* que são referenciadas com o tipo de segmento *Talvegue* e *Canal*, darão origem a massas de água da categoria “rios”.

Parte-se ainda do princípio que a rede hidrográfica representada com base nas classes *SegmentosHidro* e *JuncoesHidro* é a que corresponde à rede de maior detalhe, possibilitando assim gerar com base em generalizações, redes hidrográficas de menor ordem (menos detalhadas).

A representação dos segmentos da rede hidrográfica do tipo *Talvegue* (linha aproximada de concentração de escoamento) por, em muitos casos, se assumir uma representação aproximada da verdadeira linha de talvegue, como a linha que liga todos os pontos de maior profundidade em cada secção transversal das massas de água interiores e de transição. Este facto deve-se sobretudo à ausência frequente de dados de batimetria actualizados. Existem assim três possibilidades de representação da linha de concentração de escoamento, que se apresentam na Figura 49.

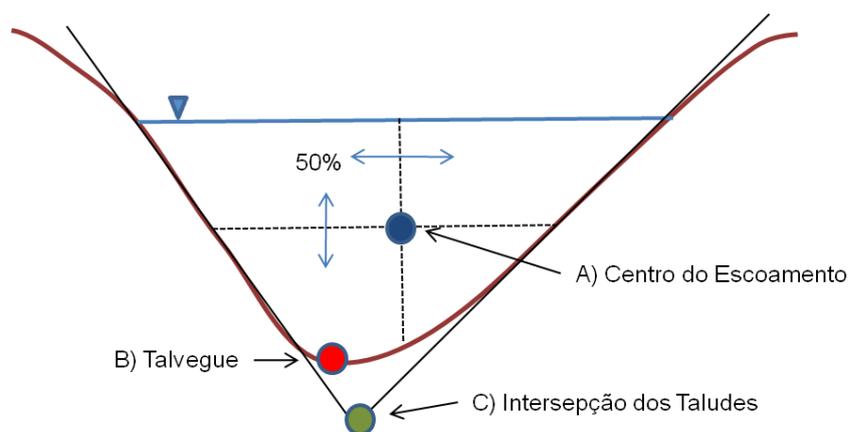


Figura 49. Vectorização da linha de escoamento: (A) considerando o centro do escoamento resultante do encontro das bissectrizes da altura da coluna de água com a largura da secção transversal molhada; (B) considerando o talvegue do curso de água; (C) a intercepção dos taludes das margens quando a batimetria é desconhecida.

A representação em planta das opções referidas está ilustrada na parte inferior da Figura 50.

Impor um número elevado de nós à rede hidrográfica, em resultado da quantidade de objectos que se prevê associar à rede através dos seus nós, contribuiria para reduzir significativa e progressivamente a performance das análises espaciais com base na rede hidrográfica. Sendo que cada arco ligaria pelo menos dois nós, cada arco corresponderia também a um registo alfanumérico, quantos mais existirem, mais longo será o tempo de execução das operações de análise espacial.

Para colmatar este facto optou-se por declarar os arcos da rede como estruturas topológicas lineares que permitissem associar nós sem que para isso tivessem de ser fisicamente segmentadas. Para tal, a classe *SegmentosHidro* herda as características da classe abstracta *ComplexEdgeFeature* (conforme representado na Figura 47). Assim, cada arco da rede mantém-se uma entidade geográfica única, mesmo que ao longo da sua representação existam nós associados a captações, estações de monitorização ou rejeições.

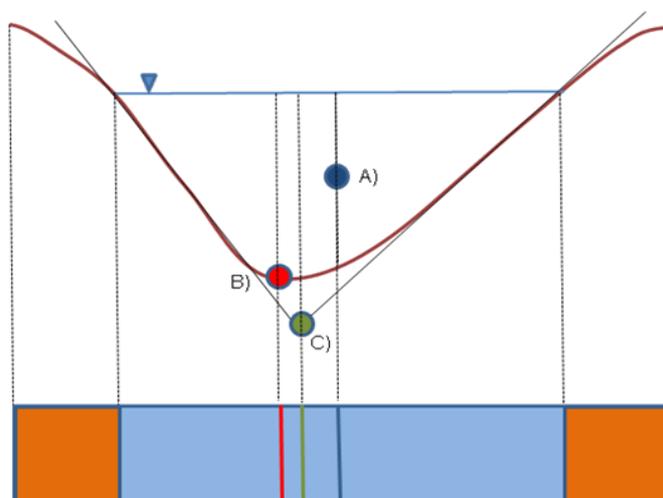


Figura 50. Representação bidimensional das opções de representação da linha de escoamento

Por sua vez, a classe de objectos pontuais (*JuncoesHidro*) contém não só referências a pontos de confluência ou bifurcação<sup>83</sup> mas também a estações de monitorização (p.e. da rede hidrométrica), captações de água superficiais, infra-estruturas hidráulicas, áreas de drenagem ou a massas de água lagos. Estas entidades geográficas são associadas aos nós da rede através de associações alfanuméricas (*IDHidro* (classe *Juncoes*) – *IDHidro* (entidades associadas)). De salientar que os dados desta classe são gerados a partir dos segmentos constituintes da rede (pertencentes à classe *SegmentosHidro*). Note-se que nem todos os nós da rede implicam uma segmentação física dos seus arcos. Os pontos de confluência, bifurcação ou de descarga de uma bacia hidrográfica implicam normalmente uma segmentação, os pontos correspondentes a estações de monitorização, captações superficiais ou rejeições superficiais não implicam necessariamente uma segmentação física dos arcos da rede geométrica.

Os nós da rede hidrográfica (classe *JuncoesHidro*) têm associações previstas com diversos tipos de entidades geográficas representadas no MDG, sendo estas asseguradas com base nos atributos *IDHidro-IDHidroJuncao*, a saber:

- estações de monitorização;
- massa de água rios, lagos e transição;
- bacias e sub-bacias hidrográficas;
- grandes barragens;
- infra-estruturas hidráulicas;
- captações superficiais;

<sup>83</sup> As bifurcações de escoamento implicam que o valor do atributo *IDHidroJusante* do nó da rede hidrográfica (classe *JuncoesHidro*) não seja único, pelo que os valores correspondentes são registados numa tabela específica

- descargas superficiais;
- pontes;
- pontos de interesse hidrológico.

Considerou-se que esta seria a forma mais eficaz de associar este tipo de entidades com a representação da rede hidrográfica, ficando assim facilitada e enriquecida, a análise espacial com base na representação da rede hidrográfica (p.e. por uma selecção de um conjunto de troços da rede, conhecer as estações hidrométricas que os monitorizam). Salieta-se que apenas as entidades geográficas que apresentem uma relação directa com a representação da rede hidrográfica lhe podem ser associadas. Entidades como captações de águas subterrâneas não são passíveis de serem associadas à representação da rede hidrográfica.

#### **4.8.2 Classificação dos nós da rede hidrográfica**

Os tipos de nós da rede hidrográfica (*JuncoesHidro*) respeitantes a constrangimento ao escoamento e regulação de escoamento são inspirados na especificação INSPIRE - Hidrografia (INSPIRE, 2010), que, para a classificação dos nós da rede, sugere as seguintes categorias:

- *boundary*;
- *flowConstriction*;
- *flowRegulation*;
- *junction*;
- *outlet*;
- *source*.

Conceptualmente, no que respeita ao MDG, optou-se por classificar por constrangimento ao escoamento, os nós da rede associados a: infra-estruturas hidráulicas, barragens, pontes e pontos de interesse hidrológico. Excluiu-se do conceito de infra-estruturas hidráulicas as grandes barragens. Optou-se por classificar como regulação de escoamento os nós associados a captações superficiais e descargas superficiais. Optou-se por não incluir a classificação de “fronteira”, na medida em que essa classificação pode resultar de uma simples confrontação de um segmento com a linha de fronteira administrativa. A acrescentar existem ainda acções de harmonização de localizações geográficas entre as autoridades portuguesas e espanholas, tanto para os casos em que a linha de fronteira acompanha a representação do talvegue aproximado da massa de água, como para os casos em que exista um atravessamento de fronteira identificável pontualmente. Ainda assim, caso as representações da rede hidrográfica de ambos os países atinjam um grau de harmonização estável, tal classificação do nó da rede pode ser incluída numa futura alteração ao MDG.

### 4.8.3 Entidades geográficas associadas à rede hidrográfica

A rede hidrográfica é constituída por nós (instâncias da classe *JuncoesHidro*) e por arcos (instâncias da classe *SegmentosHidro*). No entanto, durante o desenho do modelo lógico ficou evidente a utilidade que teria considerar, no âmbito das análises de redes geométricas, também outras classes, nomeadamente, as classes que contemplam as albufeiras, as estações de monitorização e as bacias e sub-bacias hidrográficas. Estas entidades geográficas estão directamente relacionadas com a rede hidrográfica e desempenham um papel particularmente importante na análise de recursos hídricos. São assumidas as seguintes associações com a rede hidrográfica:

- ***JuncaoHidroTemLago***, que relaciona as albufeiras com o seu ponto de descarga, equivalendo normalmente ao ponto médio da localização das descargas das barragens ou açudes;
- ***JuncaoHidroTemEstMonitorizacao***, que relaciona a estação de monitorização com um nó da rede hidrográfica;
- ***JuncaoHidroTemBacia***, que relaciona as bacias hidrográficas com o seu ponto de descarga (que é representado por um nó da rede onde se dá a segmentação da linha de leito do rio);
- ***JuncaoHidroTemSubBacia***, que relaciona as sub-bacias hidrográficas com o seu ponto de descarga (que é representado por um nó da rede onde se dá a segmentação da linha de leito do rio e que representa um ponto de confluência);
- ***JuncaoHidroTemInfraestruturaHidraulica***, que relaciona as infra-estruturas hidráulicas (que não sejam barragens ou açudes) com o nó da rede hidrográfica correspondente ao nó de descarga da infra-estrutura;
- ***JuncaoHidroTemCaptacaoSup***, que relaciona as captações superficiais com um nó da rede hidrográfica que tenha sido criado para o seu relacionamento; ou ainda que, fazendo a captação parte da rede, atribui ao nó que a representa a classificação de sumidouro de água (*sink*);
- ***JuncaoHidroTemDescarga***, que relaciona as rejeições superficiais com o nó da rede hidrográfica respectivo e que consequentemente se relaciona com a pressão antropogénica que a gera;
- ***JuncaoHidroTemPontes***, que relaciona as pontes respeitantes à rede viária e ferroviária com o nó da rede hidrográfica da secção transversal representativa deste tipo de infra-estruturas;
- ***JuncaoHidroTemBarragens***, que relaciona as grandes barragens com o nó da rede hidrográfica

- **JuncaoHidroTemPontosInteresseHidrologico**, que relaciona os pontos de interesse significativos com o nó da rede hidrográfica.

A Figura 51 ilustra a associação entre a classe dos nós da rede (*JuncoesHidro*) e a classe referente às bacias hidrográficas (classe *BaciasHidrograficas*). As restantes entidades geográficas que se relacionam com a representação da rede hidrográfica são definidas de modo similar.

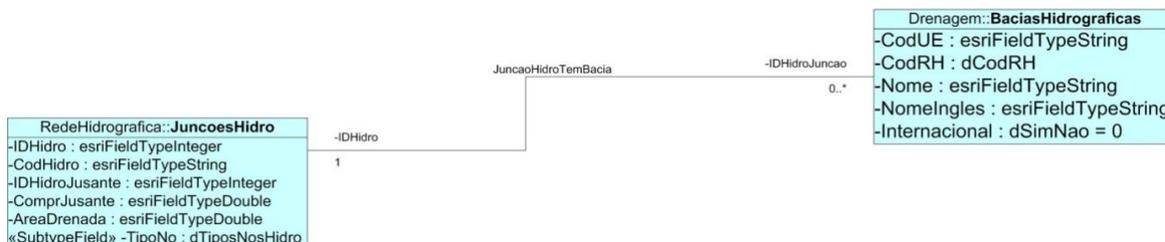


Figura 51. Exemplo da associação entre as bacias hidrográficas e os nós da rede hidrográfica

De notar que, apesar de o atributo *IDHidroJuncao* não aparecer representado nas classes de *BaciasHidrograficas* e *SubBaciasHidrograficas*, ele é herdado da super-classe *AreasDrenagem*. As classes *BaciasHidrograficas* e *SubBaciasHidrograficas* estão declaradas no pacote UML *Drenagem* (não descrito no texto da dissertação).

As relações entre os nós da rede hidrográfica e as entidades que com eles se relacionam baseiam-se na associação *IDHidro-IDHidroJuncao*, estabelecendo-se assim um sistema de codificação em que o valor do atributo *IDHidro* do nó da rede (instância da classe *JuncoesHidro*) é transposto para o atributo *IDHidroJuncao* da classe que se pretende associar à rede hidrográfica. A Figura 51 ilustra o exemplo das bacias hidrográficas. No entanto, qualquer uma das entidades exemplificadas anteriormente se baseiam na associação *IDHidro-IDHidroJuncao*. Em termos de representação geográfica pode ilustrar-se a transferência dos valores dos atributos de acordo com a Figura 52.

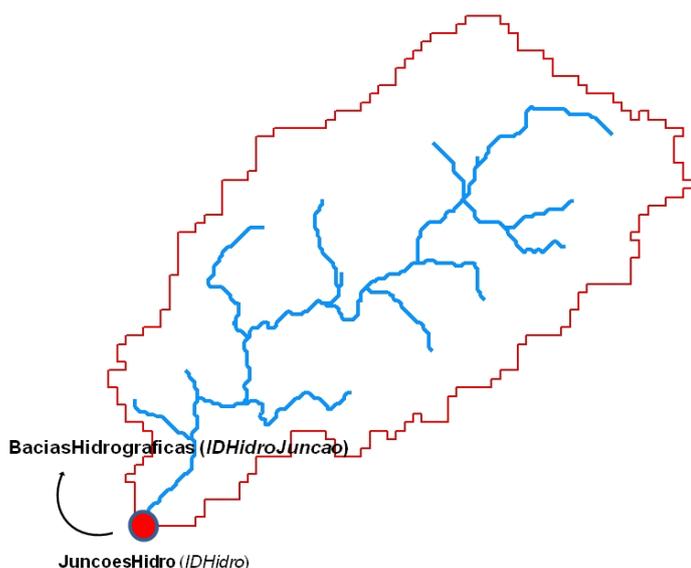


Figura 52. Associação entre as Bacias Hidrográficas e os nós da rede

A relação topológica que se estabelece em que “áreas fluem para pontos através de linhas” é particularmente útil em hidrologia, permitindo analisar o percurso de uma partícula através do sistema hidrológico representado por uma rede geométrica.

As classes de objectos que se relacionam com os nós da rede hidrográfica (classe *JuncoesHidro*) estão descritas na secção 4.9, tendo sido declaradas ao nível do pacote UML respeitante a *ObjectosSuperficiais*. Concluiu-se que seria adequado recorrer à transferência de atributos entre as classes acima referidas e os nós da rede hidrográfica (representados pela classe *JuncoesHidro*, através do seu atributo *IDHidro*). Neste sentido deverá existir um nó de rede em todos os locais em que exista necessidade de relacionar alguma entidade geográfica com a rede geométrica estabelecida. Com base na mesma filosofia de partilha de atributos, também a classe *lagos* está associada à rede hidrográfica a partir dos nós que representam o seu ponto de descarga.

A associação declarada entre a classe *Lagos* e a classe *JuncoesHidro* permite a transferência de valores dos atributos *IDHidro* para o atributo *IDHidroJuncao*, de acordo com a representação do diagrama de classes UML apresentado na Figura 53. Na figura representa-se a classe abstracta *MassasAguaSuperficiais* de forma a ilustrar os atributos envolvidos na associação. A classe *Lagos* herda os atributos da classe abstracta *MassasAguaSuperficiais*.

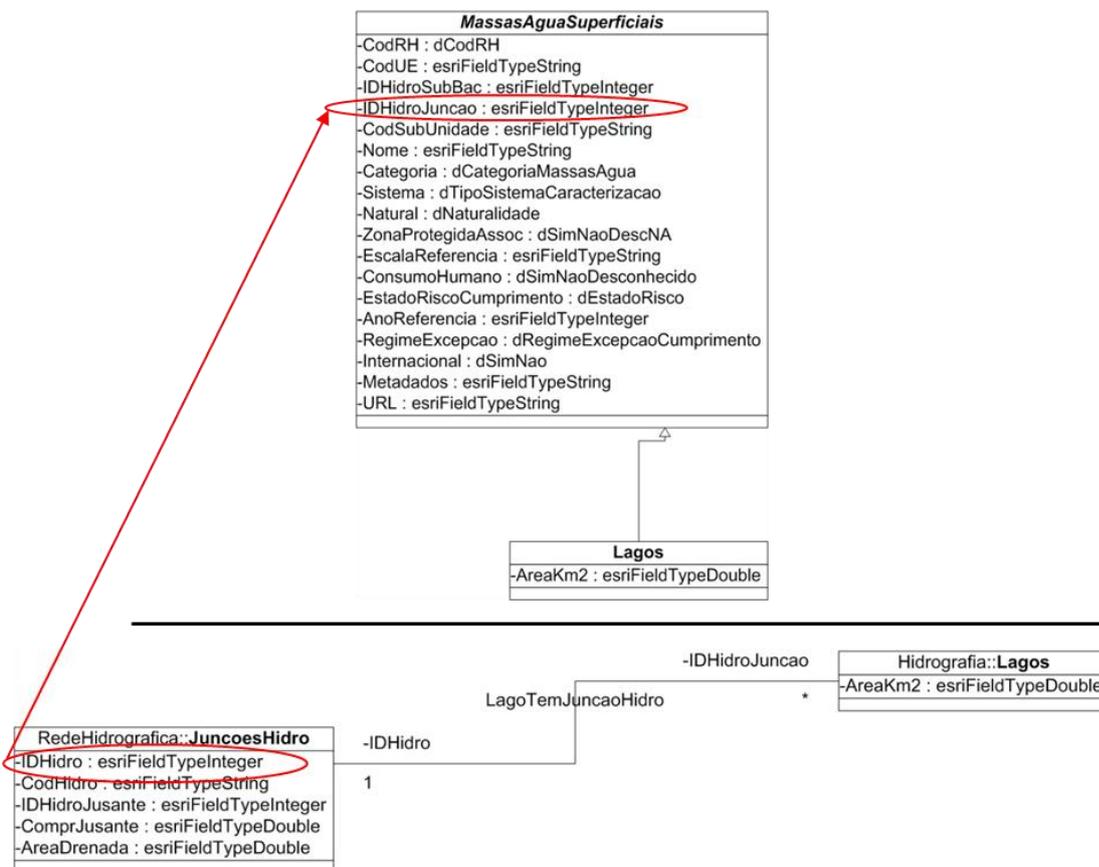


Figura 53. Migração de valores de atributos entre as classes *Lagos* e a classe *JuncoesHidro*

O desenho do modelo lógico prevê igualmente (e como se referiu anteriormente) que as estações de monitorização e as captações de água superficiais estejam relacionadas com a rede hidrográfica através dos seus nós. Para estes casos a adopção da metodologia de transferência de atributos *IDHidro-IDHidroJuncao* facilita a manutenção da localização exacta das entidades geográficas, evitando deste modo a sua deslocalização para haver coincidência posicional com a representação da rede geométrica. As associações entre as entidades geográficas que devem ser incluídas em análises de rede são garantidas pelos relacionamentos alfanuméricos obtidos através de análises espaciais.

Para efectivar a associação entre os nós da rede e as classes referidas, há que garantir a existência de um nó na rede o mais próximo possível da localização das entidades a associar. Nesse sentido, caso não exista um nó sobre o arco da rede que garanta a associação com a entidade a referenciar, deverá ser gerado um seccionamento a partir da representação da entidade a associar.

A Figura 54 ilustra o seccionamento do arco da rede com este objectivo. Na figura, podem ver-se a castanho os nós da rede pré-existentes, e a vermelho o nó criado com objectivo de estabelecer a associação à entidade geográfica representada pelo quadrado a azul.

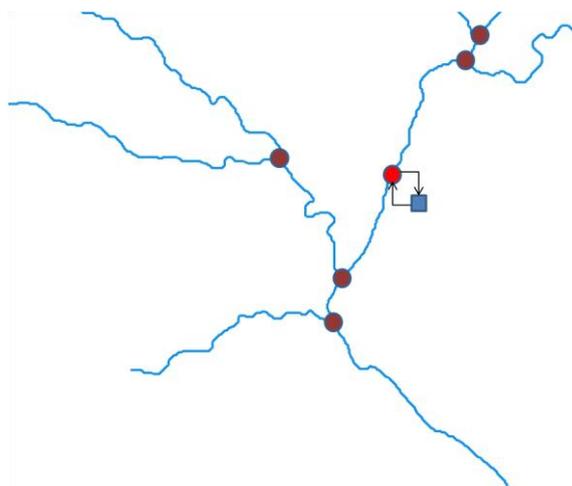


Figura 54. Seccionamento da rede hidrográfica para associação de outras entidades geográficas

Nos casos em que as entidades geográficas a associar à rede podem ser associadas a um nó da rede pré-existente (*p.e.* uma confluência de cursos de água), como ilustra a Figura 55, não será necessário gerar um novo nó sobre o arco da rede do tipo complexo. Este será o caso teórico das associações dos nós da rede a massas de água rios, lagos, transição. Também os casos relativos a bacias e sub-bacias hidrográficas e grandes barragens estão, por defeito, associados a nós das extremidades dos arcos complexos.

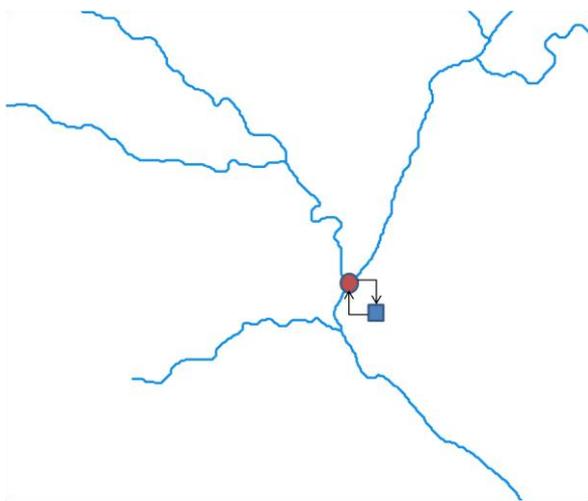


Figura 55. Associação de entidade geográfica à rede sem necessidade de seccionamento

#### 4.8.4 Determinação do sentido do escoamento na rede hidrográfica

Uma utilidade reconhecida na aplicação de redes geométricas à hidrografia é o registo e determinação dos sentidos do escoamento nas massas de água. Nas redes de transportes, o objecto que se move na rede pode seleccionar qualquer percurso ao seu dispor, desde que respeite os sentidos permitidos. Pelo contrário nas redes aplicadas aos escoamentos fluviais, tal não acontece, uma vez que o escoamento se faz naturalmente num único sentido, salvo os casos em que é forçado a fazer-se no sentido oposto por acção de mecanismos artificiais, ou se esteja perante casos de influência de maré.

O sentido do escoamento é registado com base no atributo da classe *SegmentosHidro* e resulta da classificação da forma como cada arco da rede geométrica está vectorizado. O atributo *SentidoEscoamento* é definido através de um domínio de dados designado *dSentidoEscoamento*. Esta classificação é demonstrada na Figura 56.

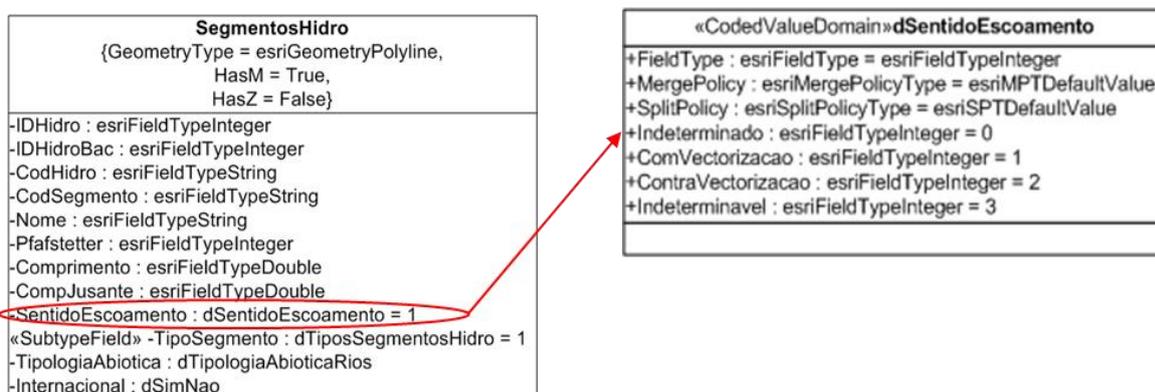


Figura 56. Classe de SegmentosHidro com os respectivos valores admissíveis relativos à direcção de escoamento.

O atributo *SentidoEscoamento* pode assim assumir os seguintes valores:

- *Indeterminado (0)*, quando ainda não foi designado o ponto de descarga (nó final do escoamento), ou não foi definido o ponto de início de escoamento (nó que representa o início do escoamento), ou ainda que não tenha sido estabelecido algum dos arcos da rede, como activo (atributo *enabled*<sup>84</sup> –activo);
- *ComVectorizacao (1)*, quando o escoamento se processa no sentido da vectorização dos vértices do arco;
- *ContraVectorizacao (2)*, quando o escoamento se processa no sentido contrário ao da vectorização dos vértices do arco;
- *Indeterminavel (3)*, aplica-se aos casos em que não é possível determinar o sentido do escoamento por falta de ligação geométrica entre os arcos.

No caso dos segmentos no interior de massas de água de transição (com influência de maré), o escoamento é bidireccional, pelo que é, por defeito, classificado como *Indeterminado*.

Caso não existam erros geométricos na rede que impeçam a ligação topologicamente correcta entre os arcos e os nós dessa mesma rede, o sentido de escoamento pode ser determinado automaticamente através da definição da nascente (ou local determinado de início do escoamento), representado como um nó da rede com a respectiva designação (*AncillaryRole: Source*) e pela definição da foz (ponto de efluência do sistema), que é representado por um nó da rede que recebe essa designação (*AncillaryRole: Sink*). Assim o atributo *AncillaryRole* permite o registo de dois valores além do valor nulo:

- o valor *Source*, para caracterizar o nó inicial da rede;
- o valor *Sink*, para caracterizar o nó final da rede.

Todas as entidades que participam numa rede geométrica devem ter a possibilidade de ser activadas e desactivadas, de acordo com as necessidades de análise do utilizador. Para registar o estado Activo/Desactivo é utilizado o atributo *Enabled*. No modelo lógico desenvolvido, as classes relativas aos nós e arcos (*JuncoesHidro* e *SegmentosHidro*, respectivamente) são estruturadas de forma a receberem os atributos *AncillaryRole* e *Enabled* automaticamente quando o modelo de dados é implementado. O atributo *AncillaryRole* destina-se a registar se:

- o nó representa o início do escoamento (conhecido como nó inicial ou de nascente);
- o nó representa o final do escoamento (conhecido como nó final ou de foz);
- nenhuma das anteriores (caso se trate de um nó que não é nem final nem inicial).

---

<sup>84</sup> Este atributo existe atributo existe pré-definido na tecnologia utilizada para a implementação do modelo lógico.

O atributo *Enabled* pode registar apenas dois valores:

- activo, para quando a entidade geográfica, nó ou arco, participa na análise de rede a realizar;
- desactivo, quando a entidade geográfica não participa na análise de rede. Uma das causas para a incapacidade de calcular automaticamente o sentido do escoamento está relacionada com os atributos *AncillaryRole* e *Enabled*. O que acontece recorrentemente é que os nós da rede, ou os seus arcos, ou possuem entidades Desactivas, ou não possuem informação suficiente acerca dos nós iniciais e finais (*Source* e *Sink*, respectivamente).

Os pontos participantes na rede - nós da rede - recebem ambos os atributos (*AncillaryRole* e *Enabled*). Os arcos da rede recebem apenas o atributo *Enabled*, dado que não se lhes aplica a condição de nó inicial ou final.

#### 4.8.5 Classificação de redes hidrográficas

O objectivo da classificação do sistema hidrográfico é o de adoptar uma codificação que permita o recurso ao posicionamento relativo (indirecto) dos eventos a georreferenciar, normalmente considerando a representação das massas de água e as respectivas bacias hidrográficas. Um sistema de posicionamento indirecto recorre a um identificador, conhecido por geocódigo, para derivar as posições relativas dos objectos representados (ISO/DIS 19112:2003<sup>85</sup>).

Existem diversos autores e inúmeros sistemas de codificação de sistemas hidrográficos. A Comissão Europeia, no âmbito da implementação da DQA (e WISE), propunha em 2005 um geocódigo híbrido derivado da classificação de Pfafstetter (1989), tal como ilustra a Figura 57.

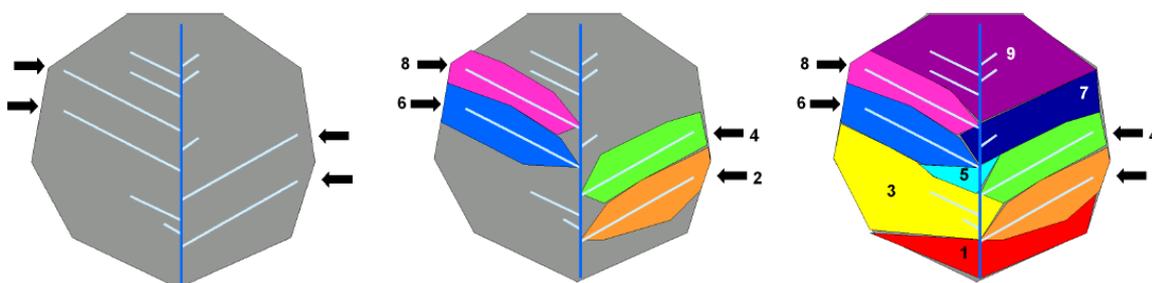


Figura 57. Exemplo de aplicação da classificação Pfafstetter (Nery *et al.*, 2002)

Este sistema baseia-se na classificação das bacias hidrográficas de um rio principal. Às quatro maiores sub-bacias são atribuídos os algarismos 2, 4, 6 e 8, por ordem de confluência com o rio

<sup>85</sup> *Geographic information - Spatial referencing by geographic identifiers*

principal, de jusante para montante. Assim, o algarismo 2 é atribuído à maior das quatro bacias mais junto à foz do rio principal. Após a divisão da bacia hidrográfica principal nas 4 maiores sub-bacias, calculam-se as bacias intermédias, que correspondem às áreas que drenam para os 5 troços do rio principal que foram divididos, e a estas 5 sub-bacias atribuem-se os algarismos 1, 3, 5, 7, e 9.

Assim, a bacia intermédia 1 consiste na área drenada pelo rio principal entre a foz e a confluência com o afluente 2. A bacia intermédia 3 consiste na área drenada pelo rio principal entre a confluência com o afluente 2 e a confluência com o afluente 4, e assim sucessivamente até à bacia intermédia 9 que corresponde à área drenada pelo rio principal, desde a confluência com o afluente 8 até à cabeceira. Com esta divisão completa-se o primeiro ciclo de geocodificação de uma bacia hidrográfica. O segundo ciclo executa-se no interior de cada uma das sub-bacias identificadas aplicando o mesmo método. A título de exemplo, a sub-bacia 4 divide-se novamente nas quatro maiores áreas de drenagem, recebendo estas os códigos 42, 44, 46, e 48, e as bacias intermédias desta, os códigos 41, 43, 45, 47, e 49. O processo de atribuição de geocódigos termina quando não for possível identificar os quatro afluentes principais. Este facto é determinado pela densidade da rede hidrográfica, que por sua vez resulta dos parâmetros de análise que se impõem ao modelo digital de terreno e à resolução espacial deste. Desta exposição deve salientar-se que um sistema de geocodificação deve apresentar as seguintes características:

- apresentar processos de codificação automatizáveis requerendo o mínimo de intervenção humana subjectiva;
- apresentar critérios de codificação claros e inequívocos, tanto para bacias hidrográficas costeiras, como para sub-bacias dentro das bacias hidrográficas principais;
- poder ser aplicável à totalidade das bacias hidrográficas, incluindo as áreas incluídas em território espanhol;
- apresentar a máxima resiliência possível a alterações de resolução espacial dos modelos digitais de terreno, o que implica que haja alguma compatibilidade dos geocódigos mesmo quando gerados por MDT de resolução de 1000m, 100m, 25m, ou menores.

Outro exemplo de um sistema de codificação é o introduzido por Horton (1945), modificado por Strahler (1957), que considera todos os canais naturais existentes que possam corresponder a massas de água perenes, intermitentes ou efémeras. Neste sistema de codificação são consideradas de primeira ordem as linhas de água iniciais que não tenham afluentes; quando as duas linhas de água de primeira ordem se unem, é formada uma de segunda ordem; a junção de duas de segunda ordem dá lugar à formação de uma de terceira ordem e assim sucessivamente. Assim, dois rios de ordem  $n$  dão lugar a um rio de ordem  $n+1$ , tal como ilustrado na Figura 58. Uma variante da classificação de Strahler é a classificação de Shreve (1966), que soma a ordem dos rios confluentes, também no sentido montante-jusante. Assim dois rios de ordem  $n$  e  $m$  dão lugar a um rio de ordem  $n+m$ .

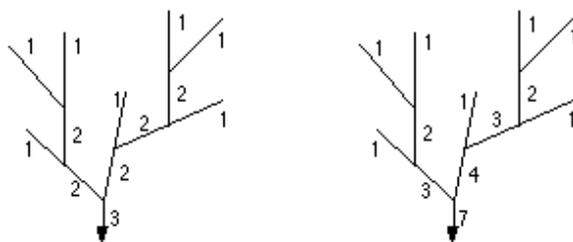


Figura 58. Exemplo da classificação de Strahler (1957) e Shreve (1966), respectivamente

Também a Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos (D.G.R.A.H.) implementou em 1981 um sistema de classificação decimal dos cursos de água. Esta classificação baseia-se num critério de classificação que segue de jusante para montante, e tem por base a ordem de entrada dos afluentes no rio principal, utilizando números pares numa margem e números ímpares na outra. A classificação decimal é altamente mutável com a escala de representação da rede hidrográfica, e conseqüentemente com a representação das linhas de água, sendo que além deste factor, depende de critérios físicos, como sejam os pontos de confluência, o que limita a utilização deste sistema de codificação. A Figura 59 exemplifica a atribuição de códigos pelo sistema decimal da DGRAH.

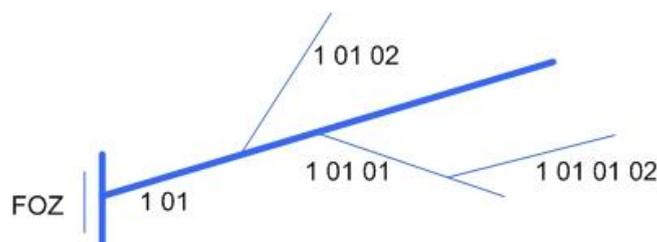


Figura 59. Classificação decimal usada pela DGRAH

Segundo Néry *et al* (2002), o geocódigo da classificação decimal não permite, sem se recorrer a operações de análise espacial, determinar os seguintes aspectos:

- troços a montante e a jusante de um determinado ponto;
- a posição relativa de rios da mesma ordem numa bacia, sempre que um troço apresente um código ímpar e outro um código par;
- identificação unívoca de um troço pertencente a um rio;
- fazer corresponder a cada troço a respectiva bacia de drenagem;
- integrar ou posicionar informação relativa ao território espanhol.

Mais recentemente foi proposta uma estrutura de codificação hierárquica (De Jager e Vogt, 2010) baseada na classificação de Otto Pfafstetter. Esta codificação tem como o objectivo facilitar a partilha de dados hidrológicos entre as organizações europeias e a sua demonstração é feita com base em dados europeus, incluindo a Turquia. O sistema de codificação é proposto para codificar

bacias hidrográficas e todas as categorias de massas de água superficiais tendo em conta oceanos, mares, ilhas e lagos.

#### **4.8.6 Segmentação dinâmica em representações de redes hidrográficas**

A segmentação dinâmica enquadra-se no paradigma dos modelos geográficos orientados para objectos como forma de complemento a estruturas de dados relacionais simples. Um exemplo disso é a estrutura de segmentação dinâmica, em que a um arco, numa estrutura topológica linear, são associados registos alfanuméricos associados a uma porção do arco, em função de um intervalo de distâncias à origem (Matos, 2008). Aos registos alfanuméricos dá-se o nome de eventos, podendo estes ser pontuais ou lineares, conforme se referirem respectivamente a uma distância única ou a um intervalo de distâncias.

A segmentação dinâmica consiste em utilizar representações de entidades vectoriais, de que é exemplo uma rede geométrica, para associar informação referenciada por intermédio de geocódigos. A referenciação linear ou pontual é considerada uma forma de referenciação espacial indirecta, dado que este tipo de sistema de referenciação não se baseia directamente em posições relativas à superfície terrestre. Os sistemas de referenciação espacial indirecta fazem uso de geocódigos (identificadores geográficos), ou de endereços, para referenciar informação relativa a entidades geográficas presentes no sistema do mundo real representado. O recurso a esta metodologia permite executar o que se denomina por segmentação dinâmica de informação geográfica.

A segmentação dinâmica resultante de sistemas de referenciação espacial indirecta não implica a segmentação física das entidades geográficas, por permitir múltiplas referenciações sem a quebra física da entidade geográfica referenciada. Para que as entidades geográficas possam receber uma segmentação dinâmica, devem ter a capacidade de serem referenciáveis pela sua coordenada de medida, também conhecida por coordenada M. A tabela de referenciação linear contém assim as coordenadas de medida, e o geocódigo da entidade geográfica (normalmente um arco da rede) a segmentar dinamicamente.

As coordenadas de medida podem ser expressas em unidades de comprimento, por exemplo quilómetros, ou em percentagem, sendo que a segmentação dinâmica pode estar representada exactamente sobre o elemento geográfico a que diz respeito, ou com um desvio fixado pelo utilizador, permitindo desta forma visualizar diversas grandezas simultaneamente.

Esta funcionalidade é relevante no domínio da hidrologia por permitir classificar pontos ou troços, sobre parâmetros que se aplicam à caracterização das massas de água, ou a outros factores ambientais que as possam influenciar. A Figura 60 demonstra a segmentação dinâmica linear de um curso de água com recurso a um desvio (*offset*) para a margem direita da classificação dos elementos de qualidade de um curso de água. A rede hidrográfica está representada a azul.

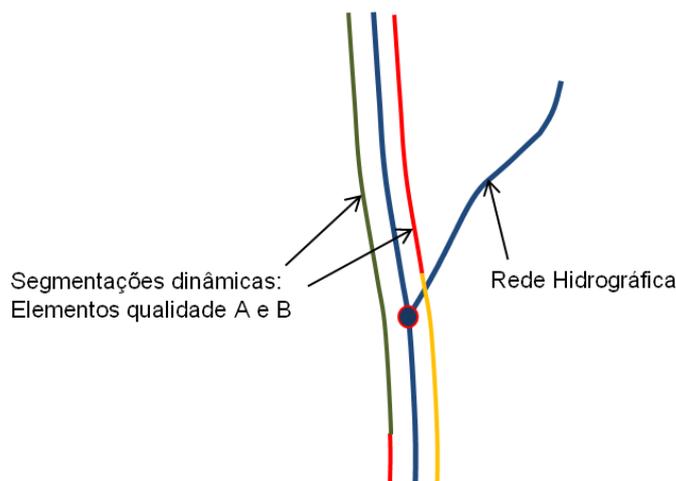


Figura 60. Exemplo da segmentação dinâmica de um curso de água.

Esta metodologia permite, por exemplo, contabilizar a percentagem de cada uma das classificações dos elementos de qualidade na massa de água, de forma a concluir sobre o seu estado geral. A mesma metodologia servirá também para produzir segmentação dinâmica com recurso a uma referência pontual.

Está previsto no modelo de dados um diagrama de classes que suporta a referência linear e pontual, denominado *HidrografiaEventos*. Quer a referência linear, quer a pontual, baseiam-se no código identificador único do segmento da rede hidrográfica (*CodSegmento*). Este código identifica univocamente cada arco da rede geométrica permitindo referenciar os eventos pontuais ou lineares que lhes estão afectos. A origem da referência linear ou pontual pode corresponder ao ponto de descarga do sistema de todo o sistema de drenagem de uma grande bacia, como ao nó de montante, ou jusante, de cada massa de água da categoria rios. A Figura 61 mostra o diagrama de classes que suporta a referência linear e pontual para segmentação dinâmica da rede hidrográfica.

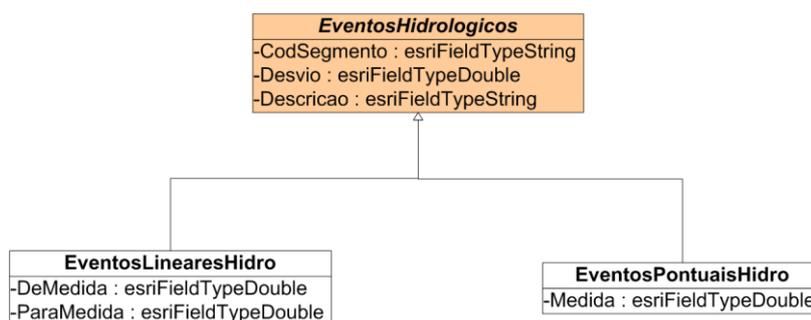


Figura 61. Diagrama de classes de suporte à referência linear e pontual

A referência linear dos eventos possui duas coordenadas de medida, registadas através dos atributos *DeMedida* e *ParaMedida*. O valor destes atributos marca o início e o final do evento, sendo que a propriedade *Desvio* diz respeito à apresentação gráfica da segmentação dinâmica. Caso o valor do atributo *Desvio* assumo o valor zero, a representação da segmentação dinâmica far-se-á exactamente sobre o elemento geográfico referenciado. O valor deste atributo pode

assumir valores reais positivos (+) ou negativos (-), sendo que estes corresponderão à representação de um lado, ou do outro de elemento geográfico de acordo com o valor do atributo *Desvio*, a que corresponde o termo inglês *Offset*.

#### 4.9 Pacote UML relativo objectos superficiais

O pacote UML referente a “ObjectosSuperficiais” inclui um conjunto de diagramas de classes que por questões de interpretação e implementação, se justifica estarem reunidos num pacote UML próprio. Nestes diagramas estão declaradas classes que não possuem uma representação geográfica directa na implementação do MDG e que, por conseguinte, dão origem a tabelas alfanuméricas. Este pacote UML inclui os seguintes diagramas de classes: *AlvosMedidas*, *AssociacoesRede*, *AssociacoesRiscos*, *AssocPerProteccao*, *AssocPressoesDescargas*, *AssocProgMonitorizacaoMA*, *AssocProgMonitorizacaoZP*, *BalancoHidrico*, *CaptacoesSupFinalidades*, *CargasPoluentesPressoes*, *EventosHidrografia*, *GestaoIDHidro*, *MAPrioritarias*, *MetodosSuperficiais*, *SeccoesTransversais*.

O diagrama de classes ***AlvosMedidas*** contempla as associações entre os programas de medidas e os alvos (classes geográficas) aos quais essas medidas se destinam, nomeadamente perímetros de protecção a captações, massas de água, bacias hidrográficas e região hidrográfica.

O diagrama de classes ***AssociacoesRede*** contempla as associações entre a rede hidrográfica (representada no modelo de dados através de uma rede geométrica) e as diversas classes do modelo de dados que com ela se relacionam. As associações à rede hidrográfica fazem-se através dos nós da rede geométrica que estão materializados no modelo de dados pela classe *JuncoesHidro*.

O diagrama de classes ***AssociacoesRiscos*** contempla a associação entre as bacias hidrográficas e a classe alfanumérica referente à classificação da seca meteorológica e agrícola e aos riscos de incêndio.

O diagrama de classes ***AssocPerProteccao*** contempla as associações entre as captações de água e os respectivos perímetros de protecção (imediate, intermédia, alargada, especial). O nível de interdição a usos dos perímetros de protecção está também caracterizado.

O diagrama de classes ***AssocPressoesDescargas*** contempla as associações entre as diversas tipologias de pressões antropogénicas e as respectivas rejeições.

O diagrama de classes ***AssocProgMonitorizacaoMA*** declara as associações entre os programas de monitorização e as massas de água superficiais e subterrâneas aos quais se aplicam. As associações entre os programas de monitorização apresentam por natureza uma cardinalidade N:M (muitos para muitos), nesse sentido foi necessário declarar classes desmultiplicadoras dessas associações.

O diagrama de classes **AssocProgMonitorizacaoZP** declara as associações entre os programas de monitorização e as zonas protegidas aos quais se aplicam. Foram consideradas todas as classes declaradas como zonas protegidas.

O diagrama de classes **BalancoHidrico** contempla a associação entre o registo de volumes de escoamento e disponibilidades hídricas por sub-bacia hidrográfica.

O diagrama de classes **CaptacoesSupFinalidades** contempla as associações entre os pontos de captação de água superficiais e as respectivas finalidades de uso.

O diagrama de classes **CargasPoluentesPressoes** contempla as cargas poluentes por sub-bacia hidrográfica. Os métodos de estimativa são também caracterizados por cada valor registado.

O diagrama de classes **EventosHidrografia** contempla as classes que referenciam eventos lineares e pontuais sobre a representação da rede hidrográfica. A partir destas referências é possível proceder à segmentação dinâmica da rede geométrica correspondente.

O diagrama de classes **GestaoIDHidro** declara as classes que suportam a atribuição dos códigos identificadores *IDHidro* às diversas entidades geográficas registadas na base de dados.

O diagrama de classes **MAPrioritarias** declara, por intermédio de uma tabela (definida pela classe *Prioritarias*), a razão, ou razões, pelas quais uma massa de água é considerada prioritária. Como a massa de água pode ser considerada prioritária por mais de uma das razões acima indicadas (ver ponto 3.7.2.), optou-se por associar a cada categoria de massa de água a tabela "Prioritarias," onde se regista o "CodHidro" da massa de água.

O diagrama de classes **MetodosSuperficiais** contempla as associações entre a região hidrográfica ou massa de água e os métodos utilizados na identificação, classificação, determinação de impactes de pressões, monitorização e lacunas/incerteza nos dados.

O diagrama de classes **SeccoesTransversais** declara as associações entre a classe relativa às secções transversais e a classe relativa às infra-estruturas hidráulicas, bem como os eventos pontuais das secções transversais (que representam os pontos de intercepção com a linha de talvegue, limites de leito, etc.).

No âmbito da dissertação optou-se por descrever apenas os diagramas relativos a associações com a rede hidrográfica (*AssociacoesRede*), gestão de identificadores internos (*GestaoIDHidro*) e metodologias utilizadas na identificação e classificação de massas de água superficiais (*MetodosSuperficiais*).

### 4.9.1 Diagrama de classes sobre associações à rede hidrográfica

O diagrama de classes *AssociacoesRede* declara as associações entre a rede rede hidrográfica e as classes de entidades geográficas que com ela se relacionam: bacias hidrográficas, sub-bacias hidrográficas, massas de água superficiais (excepto costeiras), estações de monitorização, infra-estruturas hidráulicas, grandes barragens, pontes, pontos de interesse hidrológico, descargas e captações. A Figura 62 ilustra o diagrama de classes que declara as referidas associações.

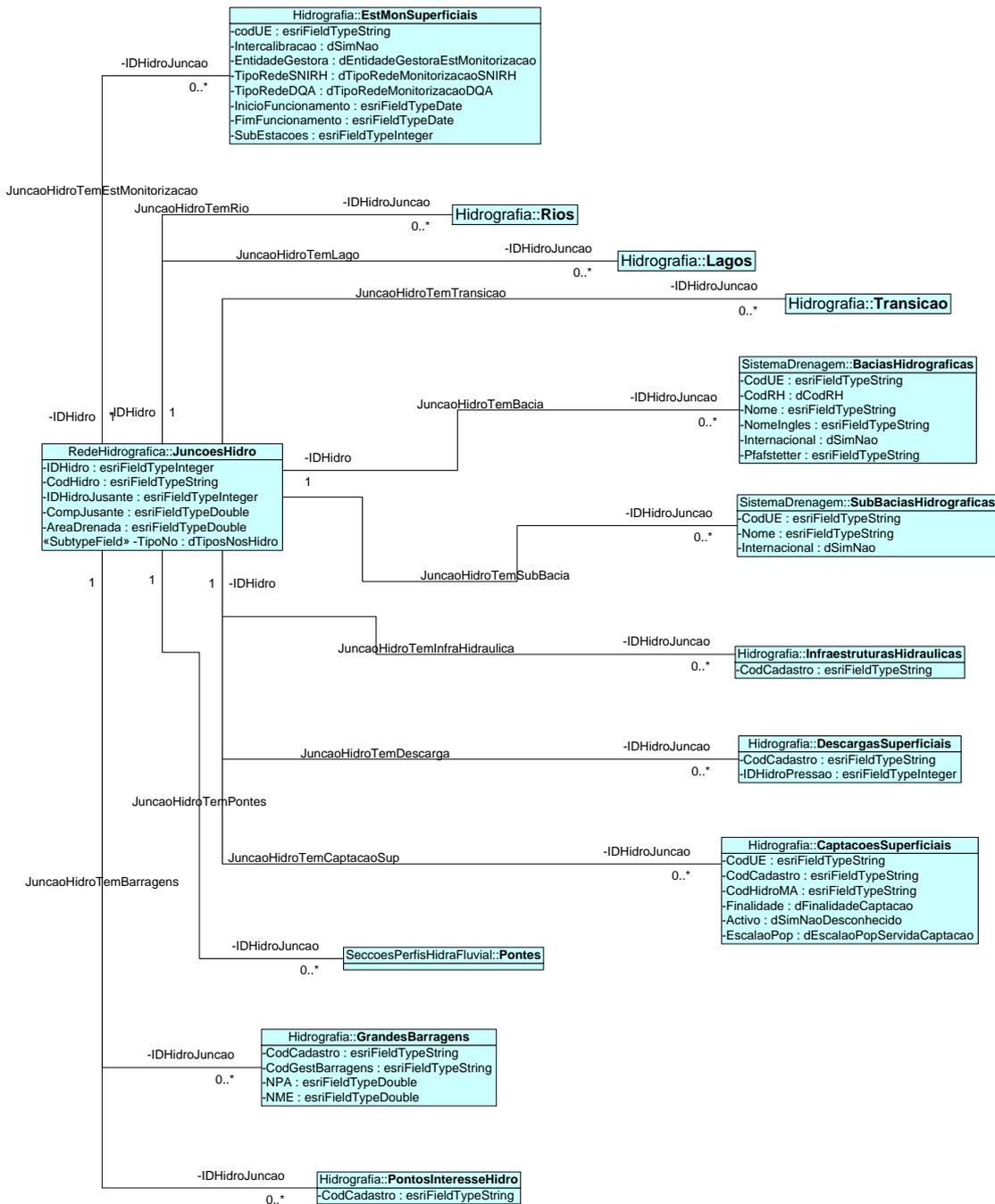


Figura 62. Diagrama de classes referente às classes geográficas associadas à rede hidrográfica

O sistema de codificação que suporta estas associações baseia-se nos atributos de identificação unívoca na base de dados de cada uma das classes envolvidas, utilizando os pares *IDHidro*/*IDHidroJuncao* como chaves primária e estrangeira, respectivamente. A chave primária é pois registada na classe *JuncoesHidro* (nós da rede), sendo as chaves estrangeiras registadas como valores do atributo *IDHidroJuncao* da classe associada ao nó da rede.

#### 4.9.2 Diagrama de classes sobre gestão de atribuição de códigos identificadores

O diagrama de classes referente à gestão de códigos identificadores é constituído por duas tabelas que permitem registar, para cada tipo de entidade geográfica, o nome do atributo identificador e o respectivo valor numérico a partir do qual serão atribuídos sequencialmente os valores identificadores. Estas classes gerem a atribuição de valores dos diversos atributos *IDHidro*, *IDParametro*, *IDProgMonitorizacao*, *IDProgMedidas*. O diagrama de classes está representado na Figura 63.

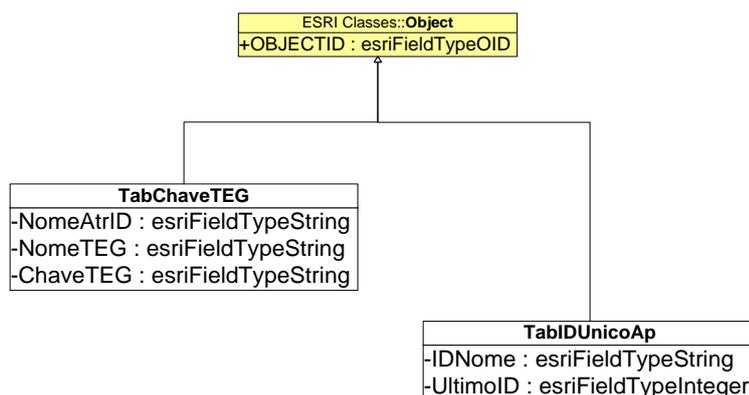


Figura 63. Diagrama de classes de suporte à gestão de códigos identificadores *IDHidro*

O sistema de códigos identificadores encontra-se descrito em maior detalhe na secção 5.3.1.

### 4.9.3 Diagrama de classes sobre metodologias aplicadas à classificação de massas de águas superficiais

O sistema de informação europeu sobre recursos hídricos (WISE) exige a caracterização das metodologias aplicadas à identificação das massas de água, à sua classificação, à caracterização dos impactes ambientais sobre a região hidrográfica, entre muitos outros. Com o objectivo de facilitar a descrição destas metodologias, e a sua posterior transposição para o WISE (tabelas “SWMET\_\*”), foi declarado o diagrama de classes representado na Figura 64 para suportar este tipo de informação.

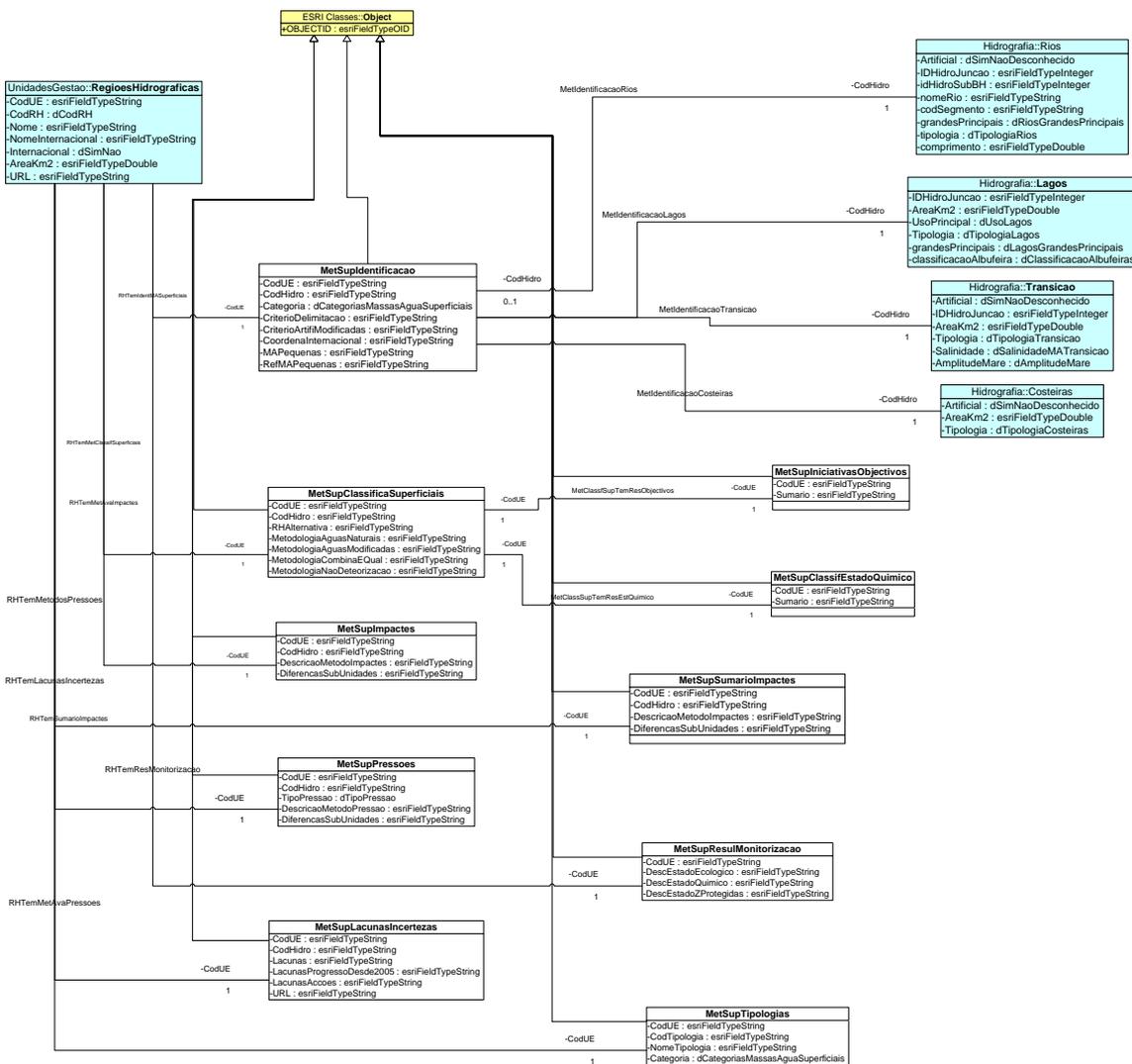


Figura 64. Diagrama de classes de suporte ao registo das metodologias aplicadas à identificação e classificação do estado das massas de águas superficiais



## 5 MODELO FÍSICO DE DADOS E PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO

### 5.1 Procedimentos de implementação

Concluídas as fases do processo de modelação de dados geográficos, que resultaram no modelo lógico de dados, descrevem-se neste capítulo os procedimentos e opções tecnológicas que conduziram à sua implementação num sistema de gestão de base de dados (SGBD). Descrevem-se os procedimentos de tratamento e carregamento de informação geográfica, bem como as funcionalidades que o desenho do MDG proporciona, nomeadamente no que respeita aos procedimentos de gestão dos sistemas de códigos identificadores e associações entre tipos de entidades (geográficas e não geográficas).

São também considerados neste capítulo os critérios de avaliação de qualidade dos dados e da sua consistência lógica e topológica, bem como os critérios de apresentação das entidades geográficas (simbologia) e a afectação dos sistemas de referência geográfica (horizontal e vertical). A implementação do modelo lógico foi efetuada considerando as seguintes etapas:

1. conversão do esquema aplicativo declarado em UML para XML;
2. verificação da coerência semântica e funcional do código XML gerado;
3. implementação do modelo lógico no SGBD;
4. incorporação de metadados sobre os tipos de entidades representados;
5. definição e implementação do sistema de referência geográfica adoptado;
6. descrição e implementação das regras topológicas aplicáveis;
7. descrição e implementação da simbologia de apresentação;
8. carregamento de informação e gestão de códigos identificadores, restrições, índices.

A Figura 65 ilustra os procedimentos de implementação do modelo lógico. Nesta descrição pressupõe-se a adoção de tecnologia ESRI, embora a implementação do modelo lógico possa ser executada sobre outro tipo de tecnologia, nomeadamente tecnologia de código aberto, quer no que diz respeito às soluções de SGBD, quer no que respeita a soluções de sistemas de informação geográfica.

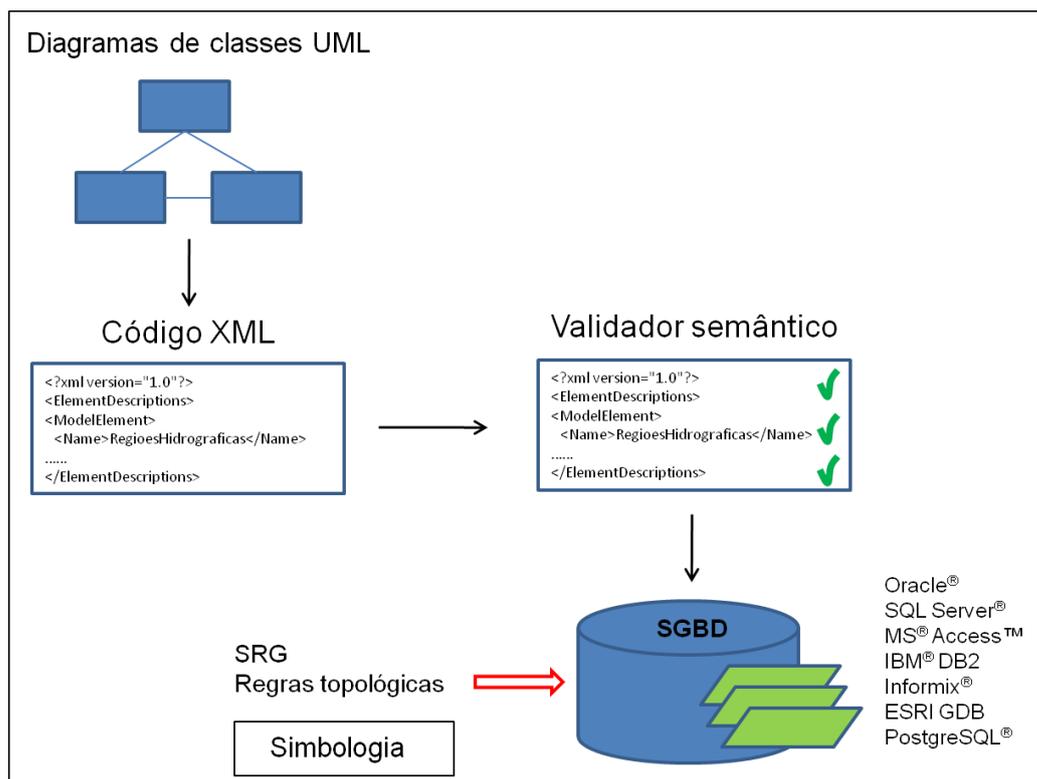


Figura 65. Etapas de implementação do modelo lógico do MDG

## 5.2 Exportação para XML e verificação de conformidade semântica

A conversão do modelo lógico declarado em UML para o formato XML permite, através da solução tecnológica adoptada, a implementação do modelo lógico em diversas plataformas SGBD, nomeadamente: Oracle®, MS Access®, Informix®, DB2®, PostgreSQL®, SQL Server®, além do formato nativo ESRI *Geodatabase*.

De salientar que o código XML resultante desta conversão contém apenas os elementos que foram declarados ao nível do modelo lógico, nomeadamente: classes, atributos, associações, marcas de valor, listas codificadas e metainformação. Os elementos respeitantes a regras topológicas, sistemas de referência geográfica, simbologia, metadados estruturados (ISO 19139) e índices espaciais foram implementados já ao nível do SGBD e não constituem parte integrante do código XML resultante da conversão a partir dos diagramas de classes UML.

O código XML foi verificado quanto à sua conformidade estrutural e semântica no que respeita aos requisitos das soluções computacionais adoptadas para o implementar. Foram analisados os seguintes aspectos de conformidade:

- declaração da geometria das classes (no caso de ser um tipo de entidade espacial);
- existência de declaração do tipo de dados dos valores dos atributos;
- definição do número de caracteres ou formato dos valores dos atributos;

- especificação da existência de coordenadas M e Z para os tipos de entidades espaciais;
- descrição das associações entre classes (chave primária, estrangeira e cardinalidade das associações);
- utilização de palavras-chave como nomes de classes ou atributos;
- verificação dos valores de precisão e escala atribuídos aos tipos de dados de atributos.

O ficheiro XML só foi classificado como conforme após ter sido verificada a sua compatibilidade semântica. No entanto, salienta-se o facto de que este tipo de verificação não ser, *per si*, uma garantia total que o MDG se encontra absolutamente isento de omissões (como marcas de valor, configuração de tipos de dados, ou coordenadas Z ou M). Tal facto não implica, no entanto, a inviabilidade de utilização do código XML para a implementação do modelo lógico.

### 5.2.1 Implementação dos tipos de dados e listas codificadas

Dado que o esquema de aplicação foi declarado recorrendo a um perfil UML próprio da tecnologia a utilizar na sua implementação, os tipos de dados declarados possuem uma correspondência com os tipos de dados dos SGBD em que se poderá materializar a implementação. De salientar que esta associação entre os tipos de dados declarados em diagramas de classes UML e os tipos de dados utilizados pelas várias plataformas SGBD deverá sempre ser feita, acautelando desta forma algumas limitações na equivalência entre os tipos de dados (declarados em UML, e implementados no SGBD seleccionado).

No caso de o SGBD a utilizar ser uma ESRI *Geodatabase*, os tipos de dados declarados ao nível do modelo lógico mantêm-se sem qualquer alteração quando implementados. Existe um universo de onze tipos de dados que podem ser utilizados na declaração dos diagramas de classes do perfil *ArctInfo UML Model*. Estes tipos de dados constam do Quadro 5.

Quadro 5. Tipos de dados do perfil UML utilizados para descrever o modelo lógico

Tipo de dado (perfil <i>ArctInfo UML</i> )	Descrição sumária
<i>ObjectID</i>	Identificador único no universo da base de dados geográficos
<i>Short Integer</i>	Tipo de dado numérico inteiro sem parte decimal e com número reduzido de caracteres (normalmente de 1 a 5)
<i>Long Integer</i>	Tipo de dado numérico real sem parte decimal e com número alargado de caracteres (normalmente de 5 a 10)
<i>Float</i>	Tipo de dado numérico real com parte decimal entre -3.4E38 e 1.2E38
<i>Double</i>	Tipo de dado numérico real com parte decimal entre -2.2E308 e 1.82E308
<i>Text</i>	Série limitada de símbolos alfanuméricos
<i>Date</i>	Data e hora nas diversas expressões, por defeito: dd/mm/aaaa hh:mm:ss
<i>BLOB</i>	<i>Binary Large Object</i> . Normalmente utilizado para armazenar longas sequências de código binário. Pode ser utilizado para armazenar imagens, vídeos ou sons
<i>GUID</i>	<i>Global Identifier</i> . Série limitada de símbolos alfanuméricos até 36 caracteres, entre parênteses, que identificam univocamente cada registo na base de dados

Tipo de dado (perfil <i>ArclInfo UML</i> )	Descrição sumária
<i>Geometry</i>	Definição do tipo de geometria: ponto, linha, polígono, multi-ponto
<i>Raster</i>	Armazenamento de dados <i>raster</i>

Na declaração do modelo lógico foram utilizados directa ou indirectamente todos os tipos de dados que constam do Quadro 5, à excepção dos tipos *blob* e *raster*.

Para os tipos de dados numéricos salienta-se o facto de que, para os casos dos numéricos reais (*double* e *float*), ser necessário, ao nível do MDG, definir o número de dígitos referentes à componente inteira e à componente decimal. Caso tal não seja acautelado, estes tipos de dados podem converter-se, na implementação do modelo lógico, num tipo de dado numérico inteiro. Esta inconsistência é detectada pelo validador semântico do código XML utilizado. A Figura 66 é uma amostra do código XML gerado a partir dos diagramas de classes UML do MDG.

```

1 <Foundation.Core.Class xmi.id="UID64231231-92DB-4081-B60A-2EBA0D07C3AF">
2 <Foundation.Core.ModelElement.name>ObjectosHidro</Foundation.Core.ModelElement.name>
3 <Foundation.Core.ModelElement.visibility xmi.value="public"/>
4 <Foundation.Core.GeneralizableElement.isRoot xmi.value="false"/>
5 <Foundation.Core.GeneralizableElement.isLeaf xmi.value="false"/>
6 <Foundation.Core.GeneralizableElement.isAbstract xmi.value="true"/>
7 <Foundation.Core.Class.isActive xmi.value="false"/>
8 <Foundation.Core.Classifier.feature>
9 <Foundation.Core.Attribute xmi.id="UID33733D83-D05E-42F5-BFD0-D75CA3E5DC06">
10 <Foundation.Core.ModelElement.name>IDHidro</Foundation.Core.ModelElement.name>
11 <Foundation.Core.ModelElement.visibility xmi.value="private"/>
12 <Foundation.Core.Feature.ownerScope xmi.value="instance"/>
13 <Foundation.Core.StructuralFeature.multiplicity>1</Foundation.Core.StructuralFeature.multiplicity>
14 <Foundation.Core.StructuralFeature.changeable xmi.value="none"/>
15 <Foundation.Core.StructuralFeature.targetScope xmi.value="instance"/>
16 <Foundation.Core.Attribute.initialValue>
17 <Foundation.Data_Types.Expression.body></Foundation.Data_Types.Expression.body>
18 </Foundation.Data_Types.Expression>
19 </Foundation.Core.Attribute.initialValue>
20 <Foundation.Core.StructuralFeature.type>
21 <Foundation.Core.DataType xmi.idref="UID342DA075-D1BE-11D2-9F2E-00C04F6BDF1A"/>
22 </Foundation.Core.StructuralFeature.type>
23 <Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
24 <Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue xmi.id="UIDDCECD5A0-06B9-462A-9562-1370FD9FE754">
25 <Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag>documentation</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.tag>
26 <Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value>Identificador numérico único na base de dados geográficos</Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue.value>
27 </Foundation.Extension_Mechanisms.TaggedValue>
28 </Foundation.Core.ModelElement.taggedValue>
29 </Foundation.Core.Attribute>

```

Figura 66. Amostra do código XML gerado pela exportação do modelo lógico do MDG

### 5.3 Sistema de códigos identificadores

#### 5.3.1 Gestão dos códigos identificadores na base de dados geográficos

O MDG considera um grupo de códigos numéricos e um grupo de códigos textuais para a gestão da identificação das entidades referenciadas na base de dados geográficos. Todos os atributos com prefixo “ID”, como: *IDHidro*, *IDHidroJusante*, e *IDHidroBH* são do tipo numérico (inteiros). Os atributos com o prefixo “Cod”, como: *CodHidro*, *CodUE*, *CodSegmento*, e *CodRH* são do tipo textual. Note-se que alguns destes códigos são geridos através de listas codificadas, determinando-se assim os seus valores admissíveis, como é o caso de *CodRH*, para o qual apenas são admitidos valores correspondentes às regiões hidrográficas existentes em Portugal

continental, e que, para o caso específico da região hidrográfica do Guadiana, estará limitado à região hidrográfica 7.

A gestão dos códigos identificadores apresenta dois níveis distintos: o nível interno e o nível externo à base de dados. Os códigos de nível interno estão armazenados como valores do atributo *IDHidro* e são utilizados para associações internas entre as entidades representadas na BDG. Os códigos de nível externo, que funcionam como identificadores públicos nacionais ou europeus, são utilizados para associações externas à BDG. São exemplos destes os atributos *CodHidro* (código público nacional), *CodUE* (código público europeu), ou *CodSegmento* (código público nacional do arco da rede). Pontualmente, o atributo *CodHidro* é utilizado para referência por geocodificação (sistema de referência geográfica indirecto).

Nas secções seguintes descrevem-se os princípios aplicados à gestão dos códigos identificadores internos e externos.

### 5.3.2 Gestão dos códigos identificadores *IDHidro*

O atributo *IDHidro* é utilizado para, internamente à base de dados, identificar univocamente cada entidade geográfica registada. Cada massa de água, infra-estrutura hidráulica ou estação de monitorização possui um *IDHidro* distinto no âmbito de cada repositório de dados. A gestão deste código identificador é garantida pela combinação dos registos de duas tabelas na base de dados (*TabChaveTEG* e *TabIDUnicoAp*), sendo que a atribuição do valor de *IDHidro* resulta da conjugação dos valores destas duas tabelas. A estrutura das tabelas está representada no Quadro 6.

Quadro 6. Estrutura das tabelas de gestão do código identificador *IDHidro*

<b>Tabela: TABCHAVETEG</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Tipo de dados</b>	<b>Descrição</b>
NOMEATRID	TEXTO (35)	Nome do contador do ID único
NOMETEG	TEXTO (35)	Nome do tipo de entidade geográfica
CHAVETEG	TEXTO (35)	Chave do tipo de entidade geográfica

<b>Tabela: TABIDUNICOAP</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Tipo de dados</b>	<b>Descrição</b>
IDNOME	TEXTO (35)	Chave do tipo de entidade geográfica
ULTIMOID	INTEIRO (10)	Último valor numérico utilizado

O Quadro 7 contém uma simulação dos registos destas duas tabelas. À esquerda representam-se alguns registos da tabela que determina a ordem sequencial de atribuição dos valores dos códigos identificadores do tipo *IDHidro* a cada objecto registado na BDG, atribuindo-lhes um identificador textual (ChaveTEG). À direita apresenta-se a tabela que regista, também sequencialmente, o último valor atribuído ao código identificador no âmbito da classe respectiva.

Quadro 7. Tabelas de gestão do código identificador *IDHidro*

Tabela TABCHAVETEG			Tabela TABIDUNICOAP	
NOMEATRID	NOMETEG	CHAVETEG	IDNome	UltimID
<i>IDHidro</i>	<i>RegioesHidrograficas</i>	1	1	0001 000 002
<i>IDHidro</i>	<i>BaciasHidrograficas</i>	2	2	0002 000 007
<i>IDHidro</i>	<i>EstacoesMonitorizacao</i>	3	3	0003 000 016
...	...	...	...	...
<i>IDHidro</i>	<i>IndustriasExtrativas</i>	115	115	0115 000 112
...	...	...	...	...
<i>IDxxxx</i>	<i>TemaFicticio</i>	2146	2146	2146 999 999

Cada vez que uma nova entidade geográfica é registada na base de dados, deve ser actualizado o contador sequencial que garante que cada entidade geográfica recebe um *IDHidro* distinto. Este mecanismo pode ser programado no SGBD que suporta a BDG disponibilizada. O código identificador *IDHidro* é assim formado por um código composto que garante unicidade ao nível da base de dados.

Os SGBD possuem mecanismos, como as sequências e *triggers*, para gerir a atribuição de valores a códigos identificadores. As sequências e *triggers* são implementadas consoante o SGBD sobre o qual se implementa o modelo lógico de dados. Apresenta-se um exemplo em linguagem procedimental de 3ª geração (PL/SQL) para a criação da respectiva sequência e *trigger* para a classe *EstacoesMonitorizacao* de acordo com os critérios apresentados:

```
CREATE SEQUENCE S_ESTACOESMONITORIZACAO START WITH 3000000 INCREMENT BY
1 NOCACHE;
--
select S_IDHidro_ESTACOESMONITORIZACAO.ULTIMOID FROM TABIDUNICOAP;
select S_IDHidro_ESTACOESMONITORIZACAO.IDHIDRO FROM DUAL;
--
create or replace trigger id_ ESTACOESMONITORIZACAO
before insert on ESTACOESMONITORIZACAO
for each row
declare novo_ID_SEQ number(10);
begin
select S_IDHidro_ESTACOESMONITORIZACAO.ULTIMOID
into nova_PK_SEQ
from dual;
--
:new.IDHidro := novo_ID_SEQ;
end id_ ESTACOESMONITORIZACAO;
/
```

Os registos da base de dados que reportem a uma entidade geográfica referenciada por um código do tipo *IDHidro* utilizam o seu valor para estabelecer a associação subjacente. É através deste método que, por exemplo, áreas de drenagem podem ser associadas aos pontos de concentração de escoamento (ponto de descarga) respectivos, ou séries temporais podem ser associadas a uma estação de monitorização simplesmente registando o *IDHidro* dessa estação de monitorização. A noção de que todas as entidades geográficas são codificadas por identificadores unívocos apresenta-se como uma vantagem conceptual na modelação de comportamentos, na

medida em que a base de dados por ser considerada como um todo integrado, ao invés de apenas temas geográficos separados sem qualquer associação declarada entre si.

O atributo *IDHidro* encontra-se definido como um tipo de dados numérico inteiro de 10 caracteres. Para a implementação do MDG utilizaram-se apenas valores positivos. O atributo *IDHidro* é utilizado em associações entre diversas entidades geográficas: *IDDrenagem*, *IDHidroJuncao*, *IDHidroJusante*, *IDHidroBH*. Todos estes atributos contêm um valor *IDHidro* e, por isso, têm de ser geridos de forma consistente entre si, dado que diversas associações se baseiam neste atributo. Se o atributo *IDHidro* de um nó da rede hidrográfica se alterar, então o objecto que lhe possa estar afecto (p.e. uma estação de monitorização) terá de actualizar o valor do atributo *IDHidroJuncao*. Este processo não foi implementado para ser executado automaticamente, no entanto pode ser executado através de operações de geoprocessamento.

Dado que algumas das soluções SGBD, nas quais pode ser implementado o modelo lógico, consideram para o tipo de dados *LongInteger* (*IDHidro*) valores entre -2.147.483.647 e +2.147.483.647 (4 bytes), assume-se que estes serão os valores limite a considerar para a constituição dos valores deste atributo. Nesse sentido, aplicou-se a constituição dos *IDHidro* a partir de dois blocos, tal como ilustra a Figura 67.

2 147 483 647

Figura 67. Composição do código identificador *IDHidro*

O primeiro bloco de quatro algarismos determina o número máximo de sequências para atributos do tipo *IDHidro*. A maioria destas sequências é atribuída por classe, uma vez que apenas o atributo *IDHidro* é utilizado para identificar univocamente os objectos de cada classe. Este primeiro bloco tem um valor máximo de 2.146 registos, o que equivalerá a assumir um número máximo potencial de 2.146 classes que o modelo lógico poderia comportar através deste método de geração de valores *IDHidro*.

Os restantes seis algarismos (assinalado a negro na figura) serão afectos à identificação dos objectos de cada classe, até um máximo de 999 999 instâncias. Para os casos em que se preveja que o número de objectos da classe possa ultrapassar um milhão de registos, podem ser reservadas duas posições do primeiro bloco de algarismos.

A tabela TABCHAVETEG foi povoada de forma a registar todas as classes presentes no MDG que são alvo de atribuição de códigos identificadores *IDHidro*. Identifica-se o nome do atributo que receberá o código identificador (NOMEATRID), o nome do tipo de entidade geográfica (NOMETEG) e a chave identificadora desse atributo (CHAVETEG). A tabela IDUNICOAP foi povoada com os registos correspondentes às chaves dos atributos (IDNOME) e com o último valor numérico atribuído (ULTIMOID). Este último atributo serve também para impor a composição do

valor de *IDHidro* para o conjunto de entidades geográficas pertencentes a um certo tipo (tema geográfico).

OBJECTID *	NomeAtrID	NomeTEG	ChaveTEG
1	IDHidro	RegioesHidrograficas	Chave_A
2	IDHidro	BaciasHidrograficas	Chave_B
3	IDHidro	SubBaciasHidrograficas	Chave_C
4	IDHidro	Rios	Chave_D
5	IDHidro	Lagos	Chave_E
6	IDHidro	Transicao	Chave_F

OBJECTID *	IDNome	UltimoID
1	Chave_A	1000001
2	Chave_B	2000001
3	Chave_C	3000001
4	Chave_D	4000001
5	Chave_E	5000001
6	Chave_F	6000001

Figura 68. Implementação das tabelas de gestão de atribuições de códigos identificadores

De acordo com os registos das tabelas da Figura 68, à primeira entidade geográfica, pertencente à classe *RegioesHidrograficas*, será atribuído o valor “1” e à primeira entidade geográfica pertencente à classe *BaciasHidrograficas*, será atribuído o valor “2” e assim sucessivamente.

Além do atributo *IDHidro*, outros atributos são utilizados para suportar associações entre objectos. O Quadro 8 contém a lista dos códigos identificadores previstos do tipo *IDHidro*.

Quadro 8. Lista de códigos identificadores previstos no modelo lógico

Identificador (ID)	Descrição
<i>IDDrenagem</i>	Identificador para referência da área de drenagem associada
<i>IDHidroJuncao</i>	Identificador para referência do nó da rede hidrográfica
<i>IDHidroBH</i>	Identificador para referência da bacia hidrográfica
<i>IDHidroJusante</i>	Identificador da entidade geográfica localizada a jusante
<i>IDHidroCaptacao</i>	Identificador para referência da captação de água
<i>IDHidroST</i>	Secção transversal
<i>IDHidroAssoc</i>	<i>NosGrafos</i>
<i>IDHidroPressao</i>	Identificador para referência da pressão tópica ou difusa associada a uma descarga superficial
<i>DeIDHidro</i>	Identificador do nó inicial do segmento de grafo representativo da rede hidrográfica
<i>ParaIDHidro</i>	Identificador do nó final do segmento de grafo representativo da rede hidrográfica
<i>IDParametro</i>	Identificador do parâmetro de qualidade
<i>IDTipologia</i>	Identificador de cada tipologia de massas de água
<i>IDElementoMonitorizado</i>	Identificador do elemento de qualidade monitorizado
<i>IDProgMonitorizacao</i>	Identificador do programa de monitorização
<i>IDProgMedidas</i>	Identificador do programa de medidas
<i>IDObservacao</i>	Identificador da observação (valor) de um parâmetro
<i>IDTipoST</i>	Identificador do tipo de série temporal
<i>IDCategoria</i>	Identificador das categorias de massas de água

### 5.3.3 Identificadores externos à base de dados (*CodHidro/\*MS\_CD*)

O atributo *CodHidro* é utilizado para gerir e referenciar códigos externos à base de dados, tendo como função armazenar os códigos públicos nacionais respeitantes às entidades geográficas (hidrológicas ou não) representadas na BDG. Nas especificações do WISE este atributo é referenciado com o sufixo *\*MS\_CD*, e é atribuído às regiões hidrográficas (*RBD\_MS\_CD*), massas de água (*GWB\_MS\_CD*, *SWB\_MS\_CD*), zonas ou áreas protegidas (*PROT\_AREA\_MS\_CD*).

O documento-guia n.º 22 (European Commission, 2009d) refere que os códigos identificadores podem ser formados pelos seguintes caracteres: ["A"..."Z", "a"..."z", "0"..."9", "\_", ".", "-", ",", "]. Os caracteres alfabéticos devem ser apresentados em maiúsculas e caracteres especiais como '\$', '!', '&', 'ë', 'á', etc., não são permitidos. Os caracteres numéricos são aconselhados após os caracteres alfabéticos. Estas normas são adoptadas na atribuição dos valores do atributo *CodHidro/MS\_CD*.

Não é conhecido nenhum documento público oficial, de nível nacional, que estabeleça claramente os critérios de constituição dos códigos identificadores textuais. Estes critérios podem ser alvo de acções de harmonização entre os estados-membros que partilham entidades geográficas que devam ser reportadas (p.e. rios, massas de água subterrâneas, zonas protegidas).

Além do código identificador para referência externa *CodHidro* e do respectivo *CodUE*, estão previstos no MDG um conjunto de códigos identificadores textuais que asseguram a referência a códigos externos à BDG. Estes códigos estão listados no Quadro 9.

Quadro 9. Lista de códigos identificadores previstos no modelo lógico

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
<i>CodRH</i>	Código identificador da região hidrográfica
<i>CodGestBarragens</i>	Código identificador no sistema de monitorização de segurança de barragens <i>GestBarragens</i>
<i>CodSubUnidade</i>	Código identificador da sub-unidade de gestão hidrográfica
<i>CodSegmento</i>	Código identificador do segmento hidrográfico
<i>CodAC</i>	Código identificador da autoridade competente
<i>CodST</i>	Código identificador de secção transversal
<i>CodHidroInfra</i>	Código identificador para referência da entidade geográfica representativa da infra-estrutura hidráulica
<i>CodHidroZP</i>	Código identificador para referência da zona protegida
<i>CodHidroEM</i>	Código identificador para referência da estação de monitorização
<i>CodHidroMA</i>	Código identificador para referência da massa de água
<i>CodMedida</i>	Código identificador da medida
<i>CodProgMonitorizacao</i>	Código identificador do programa de medidas

A secção seguinte descreve as regras de constituição e utilização do código de identificação europeu.

### 5.3.4 Código de identificação europeu (*CodUE/EU\*CD*)

O código de identificação europeu tem a sua expressão no atributo *CodUE*, sendo atribuído a todas as entidades geográficas que constituam elementos a reportar à Comissão Europeia (WISE), tais como as regiões hidrográficas (EURBDCcode), massas de água (EUSurfaceWaterBodyCode), zonas protegidas (EUProtectedAreaCode). O código europeu constitui-se a partir dos valores do atributo *CodHidro*, ao qual está afecto o seguinte formato:

**MS#<sub>1</sub>#<sub>2</sub>...#<sub>40</sub>**

em que MS corresponde aos dois caracteres identificadores do estado-membro de acordo com a norma ISO 3166-1-Alpha-2; aos #<sub>1</sub>#<sub>2</sub>...#<sub>40</sub> correspondem até 40 caracteres textuais resultantes de um sistema de codificação único no estado-membro.

Podem existir duas entidades geográficas com o mesmo código europeu, na medida em que uma massa de água pode ser representada através de várias entidades geográficas. Este é o caso de uma massa de água rio quando representada por vários segmentos de linha (em que esses segmentos são parte constituinte de uma única massa de água rio). Pretende-se assim que cada elemento a reportar ao WISE seja identificado univocamente no espaço europeu e que a leitura desse código possa simultaneamente conter um significado de interpretação hidrológica perceptível pelos utilizadores da informação, como é o caso da codificação de Pfafstetter (1989).

## 5.4 Implementação do modelo lógico

A implementação do modelo lógico do MDG foi executada sobre uma ESRI Geodatabase (*file geodatabase*), permitindo converter directamente o modelo lógico desenvolvido numa estrutura física, que incorpora todos os elementos descritos por via dos diagramas de classes UML. Os objectos implementados na conversão directa do esquema de aplicação para a estrutura física do SGBD foram os seguintes:

- 10 séries de conjuntos de dados geográficos (correspondentes a *Feature Datasets* na tecnologia adoptada): *DominioHidrico*, *Hidrografia*, *OrdenamentoTerritorio*, *PressoesAntropogenicas*, *RedeHidrografica*, *Riscos*, *PerfisHidraulicaFluvial*, *SistemasDrenagem*, *UnidadesGestao*, *ZonasProtegidas*;
- 93 conjuntos de dados geográficos;
- 1 rede geométrica;
- 89 tabelas alfanuméricas;
- 189 associações;
- 136 domínios de dados (correspondentes a enumerações UML).

À base de dados geográficos implementada adicionaram-se os seguintes elementos:

- sete conjuntos de regras topológicas;
- sistemas de referência geográfica (horizontal e vertical);
- metainformação (que inclui uma descrição ao nível de cada classe, atributos das classes, domínios e associações);
- índices espaciais (por questões de performance de visualização e pesquisa).

O modelo físico está ilustrado na Figura 69 (embora não por completo devido à sua extensão).

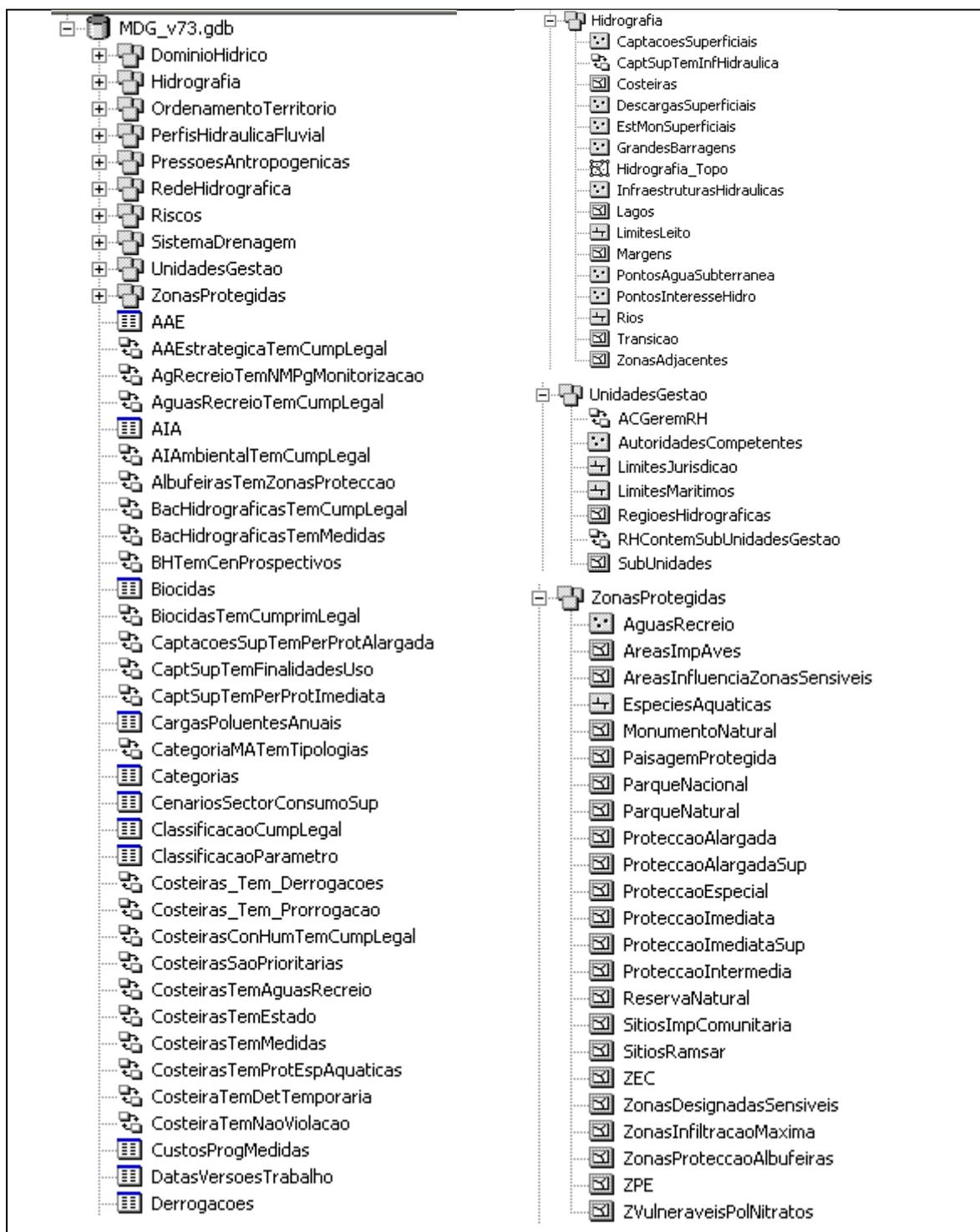


Figura 69. Perspectivas do modelo físico de dados

Os elementos de simbologia (declarados no formato ESRI *style set file*) foram também definidos de acordo com a legislação aplicável à representação cartográfica para as certas classes do modelo de dados.

Não foram consideradas imagens, ou catálogos de imagens no desenho e implementação do modelo lógico. A tecnologia adoptada torna transparente para o utilizador a complexidade inerente à organização da base de dados assim estruturada, na medida em que o que se visualiza são os conjuntos de dados geográficos, tabelas alfanuméricas, associações e regras topológicas; e não directamente a estrutura física do esquema do SGBD.

## 5.5 Carregamento e organização de dados

Os procedimentos de carregamento de informação no modelo físico de dados foram executados com recurso a mecanismos de validação e precedências. As regras de validação aplicam-se a valores dos atributos, sistemas de referência geográfica e regras topológicas. As precedências relacionam-se com as categorias de associações estabelecidas entre os tipos de entidades geográficas a registar na base de dados (pe. o registo de uma sub-bacia hidrográfica que referencie a bacia hidrográfica à qual pertence implica que antecipadamente estejam registadas as entidades geográficas referentes às bacias hidrográficas).

Diversas tabelas da base de dados geográficos são referenciadas através de identificadores numéricos, ou códigos identificadores textuais (como *IDHidro* e *CodHidro* respectivamente), que são estabelecidos em tabelas de referência. Tal facto implicou que estas tabelas de referência fossem preenchidas antecipadamente de acordo com uma ordem própria de carregamento, mantendo assim a coerência entre os dados. Esta ordem de registo dos objectos na base de dados é descrita na secção seguinte.

### 5.5.1 Precedências de carregamento

Quer no carregamento de dados na base de dados, quer no geoprocessamento da informação no âmbito do SIG, considerou-se inicialmente o tipo de entidade geográfica de maior abrangência espacial, ao qual corresponde a delimitação da região hidrográfica do caso de estudo (RH 7). Este procedimento definiu automaticamente o âmbito geográfico da base de dados implementada. Posteriormente a estes dados, foi carregada a informação correspondente aos diferentes níveis hierárquicos de planeamento e gestão, pela seguinte ordem:

1. região hidrográfica;
2. bacias hidrográficas;
3. sub-bacias hidrográficas;
4. zonas protegidas;
5. massas de água.

O tema geográfico respeitante aos nós da rede hidrográfica foi o último conjunto de dados geográficos a ser carregado na base de dados, pela razão de que utiliza, para a sua constituição, conjuntos de dados como:

- estações de monitorização;
- rios;
- lagos;
- bacias hidrográficas;
- sub-bacias hidrográficas;
- grandes barragens;
- captações em massas de água superficiais interiores e de transição.

Cada uma das entidades geográficas dos conjuntos de dados referidos implica a existência de um nó na rede hidrográfica, o que implica o registo prévio na base de dados desses conjuntos de dados. A ordem de carregamento de informação geográfica e alfanumérica na base de dados é referida com recurso ao catálogo de entidades geográficas do MDG, utilizando as classes de cores referidas no Quadro 10. A ordem de carregamento foi incorporada no catálogo de entidades geográficas e consta do anexo. As cores que definem a ordem de carregamento foram inspiradas e adaptadas de Atkins (2009a).

Quadro 10. Cores atribuídas aos níveis de prioridade de carregamento de informação na base de dados geográficos

Nível de prioridade	Cor atribuída
Nível 0	Vermelho
Nível 1	Azul
Nível 2	Verde
Nível 3	Lilás
Nível 4	Castanho
Nível 5	Preto

Indica-se no Quadro 11 a hierarquia de carregamento de algumas das classes geográficas, sendo as referenciadas com o nível 0, as primeiras a ser carregadas. No Quadro 11 é também identificado o valor do atributo *IDHidro* correspondente ao primeiro registo de cada uma das classes correspondentes.

Quadro 11. Hierarquia de carregamento aos conjuntos de dados geográficos e atribuição do código único identificador (*IDHidro*)

Classes geográficas	Hierarquia de carregamento	<i>IDHidro</i> inicial
<b>SistemaDrenagem - Série CDG</b>		
<i>BaciasHidrograficas</i>	Nível 1	2000001
<i>LinhasDrenagem</i>	Nível 4	11000001
<i>PontosDrenagem</i>	Nível 4	12000001
<i>SubBaciasHidrograficas</i>	Nível 2	5000001
<b>Hidrografia - Série CDG</b>		
<i>CaptacoesSuperficiais</i>	Nível 4	13000001

<b>Classes geográficas</b>	<b>Hierarquia de carregamento</b>	<b>IDHidro inicial</b>
<i>Costeiras</i>	Nível 2	6000001
<i>DescargasSuperficiais</i>	Nível 4	14000001
<i>EstMonSuperficiais</i>	Nível 3	10000001
<i>InfraestruturasHidraulicas</i>	Nível 4	15000001
<i>Lagos</i>	Nível 2	7000001
<i>Margens</i>	Nível 4	16000001
<i>Rios</i>	Nível 2	8000001
<i>Transicao</i>	Nível 2	9000001
<b>OrdenamentoTerritorio - Série CDG</b>		
<i>POAAC</i>	Nível 4	17000001
<i>POOC</i>	Nível 4	18000001
<b>PressoesAntropogenicas - Série CDG</b>		
<i>Industrias</i>	Nível 4	19000001
<i>Aquacultura</i>	Nível 4	20000001
<i>Aterros</i>	Nível 4	21000001
<i>InstalacoesPCIP</i>	Nível 4	22000001
<i>Pecuarías</i>	Nível 4	23000001
<b>RedeHidrografica - Série CDG</b>		
<i>JuncoesHidro</i>	Nível 5	38000001
<i>NosGrafos</i>	Nível 5	39000001
<i>SegmentosGrafos</i>	Nível 5	40000001
<i>SegmentosHidro</i>	Nível 5	41000001
<b>Riscos - Série CDG</b>		
<i>ErosaoCosteira</i>	Nível 4	24000001
<i>ErosaoHidrica</i>	Nível 4	25000001
<i>ZonasCheiasArtificiais</i>	Nível 4	26000001
<i>ZonasCheiasNaturais</i>	Nível 4	27000001
<b>PerfisHidraulicaFluvial - Série CDG</b>		
<i>PerfisLongitudinais</i>	Nível 4	28000001
<i>SeccoesTransversais</i>	Nível 4	29000001
<b>UnidadesGestao - Série CDG</b>		
<i>AutoridadesCompetentes</i>	Nível 1	3000001
<i>LimitesMaritimos</i>	Nível 4	30000001
<i>RegioesHidrograficas</i>	Nível 0	1000001
<i>SubUnidades</i>	Nível 1	4000001
<b>ZonasProtegidas - Série CDG</b>		
<i>AguasRecreio</i>	Nível 4	31000001
<i>AreasImpAves</i>	Nível 4	32000001
<i>AreasInfluenciaZonasSensiveis</i>	Nível 4	33000001
<i>EspeciesAquaticas</i>	Nível 4	34000001
<i>ParqueNatural</i>	Nível 4	35000001
<i>ProteccaoAlargada</i>	Nível 4	36000001
<i>Proteccaointermedia</i>	Nível 4	37000001

Para a execução do carregamento da base de dados foram testados dois métodos: i) o método de carregamento através de uma sessão de edição de dados; e, ii) o método de carregamento fora de sessão de edição de dados. O primeiro método permitiu tirar partido directo das regras de validação implementadas na estrutura de base de dados, enquanto o segundo permitiu mais rapidez de operação para grandes volumes de dados, uma vez que a validação dos mesmos não é feita no momento do carregamento.

Dado que o primeiro conjunto de dados geográficos a ser carregado define o âmbito geográfico da base de dados (*geographic extent*), optou-se pelo carregamento do polígono da região hidrográfica a que respeita a base de dados. Assim, para o carregamento desse conjunto de dados assegurou-se a similaridade com a estrutura de dados implementada e concordância com o sistema de referência geográfica da base de dados implementada.

### **5.5.2 Catálogo de entidades e dicionário de dados**

Com o objetivo de facilitar o uso do catálogo de entidades e do dicionário de dados optou-se por os integrar num único documento no formato HTML e portanto pesquisável através de um *browser* (*Mozilla Firefox*, *Internet Explorer* ou *Google Chrome*). O documento integrado tem no cabeçalho um resumo da estrutura da base de dados: séries de conjuntos de dados geográficos (*feature datasets*), conjuntos de dados geográficos (*feature classes*), associações entre classes, rede geométrica e regras topológicas. O dicionário de dados e o catálogo de entidades são produtos resultantes do modelo conceptual de dados e do modelo lógico de dados, respectivamente. O cabeçalho do catálogo de entidades está representado na Figura 70.

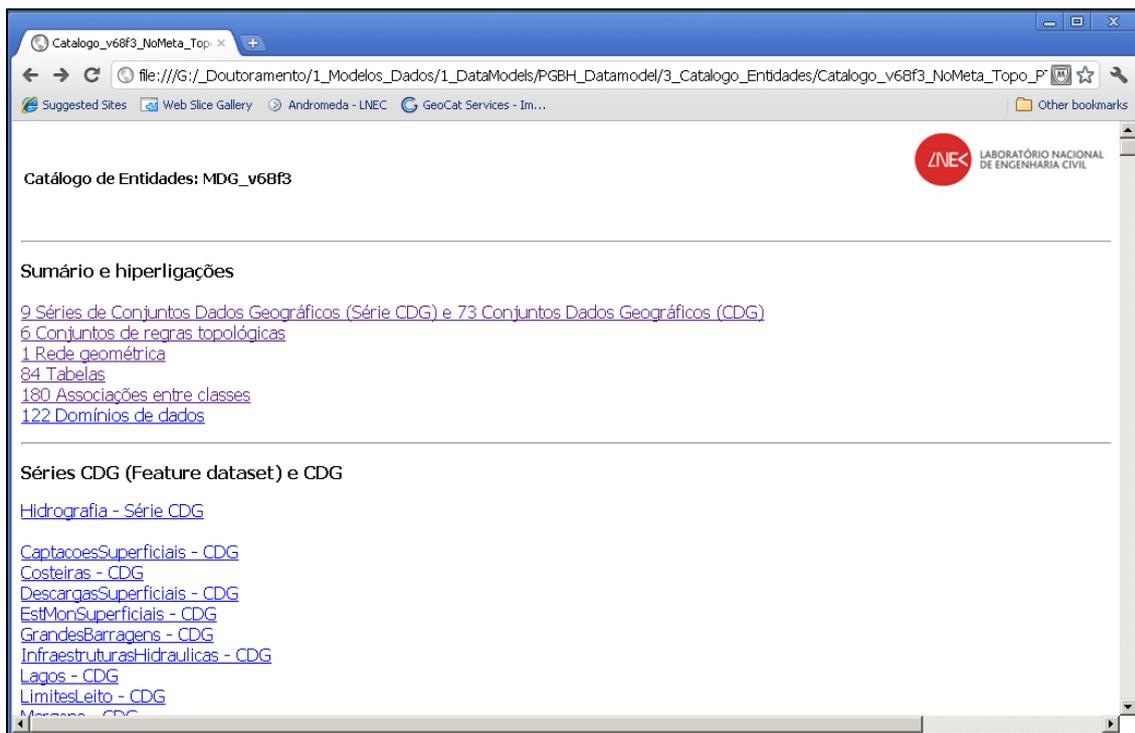


Figura 70. Catálogo de entidades do modelo lógico

Os elementos do dicionário de dados (metadados) estão integrados no catálogo de entidades. A Figura 71 ilustra as descrições dos conceitos representados no MDG.

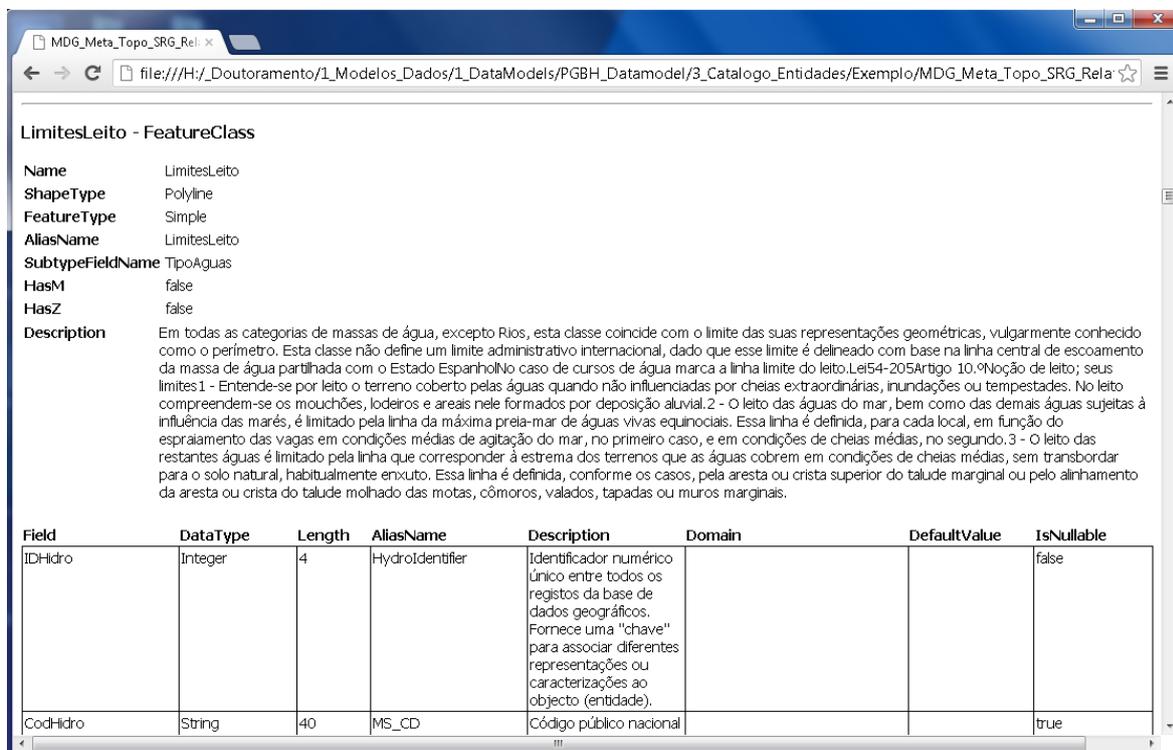


Figura 71. Exemplo da estrutura de metadados no catálogo de entidades

A região hidrográfica do rio Guadiana foi adoptada para prova de conceito dos procedimentos de implementação do MDG e respectiva preparação e carregamento de informação geográfica. A região hidrográfica do rio Guadiana corresponde ao espaço territorial sob jurisdição do estado português, denominada região hidrográfica 7 (RH7). Procurou-se caracterizar o sistema hidrológico com registos reais dos tipos de entidades considerados no MDG desenvolvido. Por razões operacionais de cálculo computacional ou de demonstração de funcionalidades, foram pontualmente consideradas bacias ou sub-bacias hidrográficas específicas. Além da informação geográfica reportada à Comissão Europeia através do WISE, no âmbito da implementação da DQA, foi ainda considerada informação proveniente dos seguintes sistemas de informação:

- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH);
- Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento e de Águas Residuais (INSAAR);
- Gestor de informação geográfica InterSIG (INAG).

Foi também considerada informação de diversas entidades como as administrações de região hidrográfica do Algarve e Alentejo; LNEC; Instituto Geográfico Português (IGP), e do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), do Instituto Hidrográfico (IH), EDIA, entre outras organizações.

## **5.6 Integração de informação geográfica no modelo digital de terreno**

O modelo lógico de dados contempla classes com o objectivo de descrever o sistema hidrológico superficial pelo que foi considerado essencial dispor de informação hidrográfica que pudesse ser utilizada para condicionar a representação do terreno ao sistema de drenagem já conhecido, nomeadamente rede hidrográfica e bacias hidrográficas. Este procedimento reduziu as situações de indeterminação da direcção de escoamento superficial que exigiram o processamento dos modelos digitais de terreno com algoritmos específicos (Endreny & Wood, 2003).

O sistema hidrográfico do caso de estudo da bacia do Guadiana é na sua generalidade dendrítico, sendo caracterizado por uma rede hidrográfica em que os cursos de água se unem nos pontos de confluência e escoam para a foz principal do sistema. Não existem portanto bacias endorreicas. A Figura 72 ilustra a abrangência geográfica da bacia do Guadiana sobreposta aos limites das 108 folhas da carta militar da série M888 do IGeoE à escala 1:25.000 numa versão em formato digital, utilizadas como a fonte de informação altimétrica.

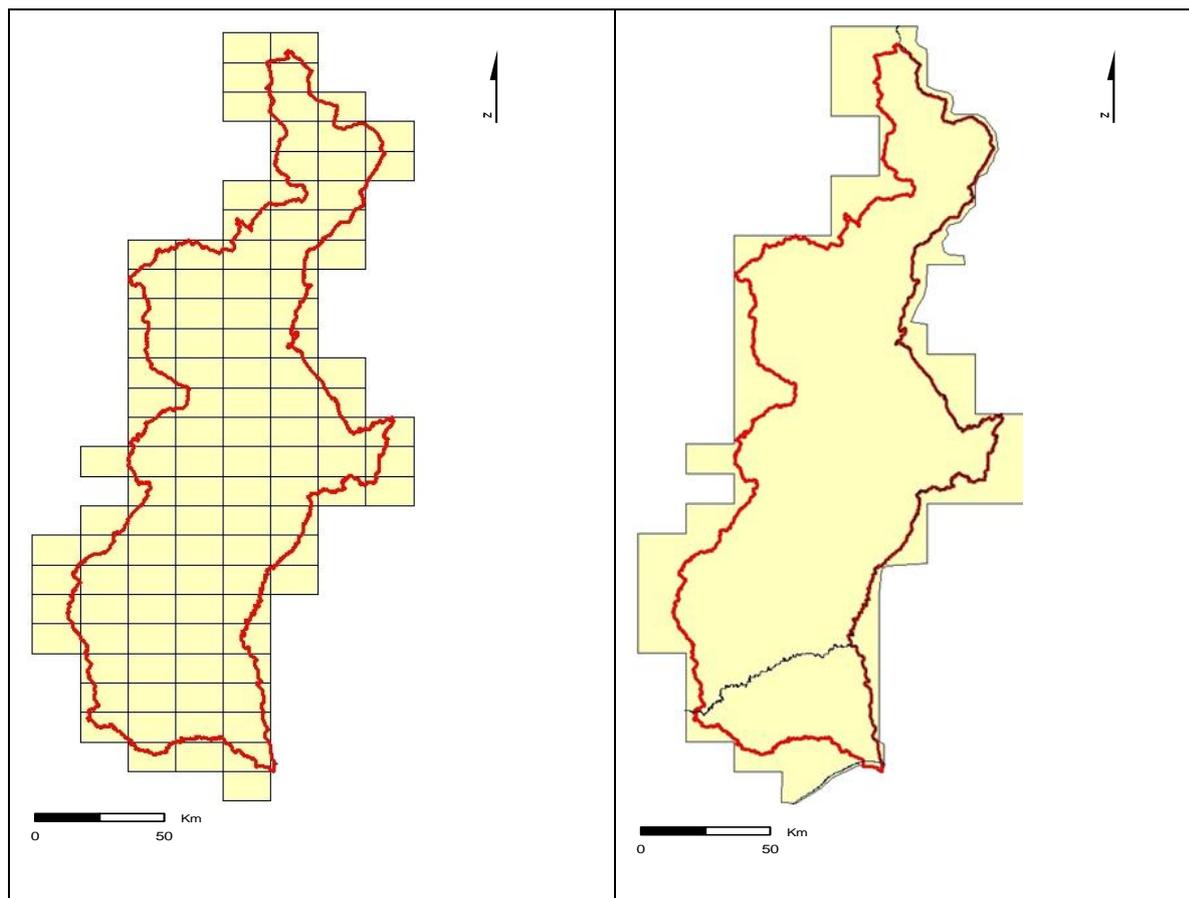


Figura 72. Abrangência geográfica da bacia do rio Guadiana sob jurisdição portuguesa sobreposta com os limites das folhas da carta militar (imagem à esquerda), e sobreposta com a área com informação altimétrica disponível (imagem à direita)

A bacia hidrográfica do rio Guadiana é uma bacia internacional em que a quase totalidade do seu lado Este demarca a fronteira entre Portugal e Espanha. Tal facto implica, pelos critérios de produção da série cartográfica M888, que não esteja disponível toda a informação altimétrica necessária para um correcto cálculo do sistema de drenagem. Estas características da informação obrigaram a recorrer a mecanismos de tratamento de dados com o objectivo de gerar limites de bacias hidrográficas e de rede hidrográfica coerentes com os dados disponibilizados no sistema InterSIG do INAG.

Dado que os padrões de drenagem calculados com base num MDT original não correspondem frequentemente ao sistema de drenagem real que se pretende caracterizar, foi necessário ajustar o MDT para que se pudesse considerar hidrologicamente coerente, e para que os seus resultados pudessem estar consistentes com os temas de referência já conhecidos.

Os procedimentos de tratamento de informação geográfica foram aplicados com o objectivo de obter um modelo digital de terreno (MDT) hidrologicamente coerente utilizando para tal os seguintes CGD:

- região hidrográfica do rio Guadiana (tema ART13\_REGHID\_PTCONT, do InterSIG, versão 0.282 de 1-02-2008);

- rede hidrográfica codificada (tema HICOD\_25K\_PTCONT do InterSIG, versão 0 de 02-07-2008);
- massas de água lagos (tema ART13\_MLAGOS\_PTCONT, versão:1 de 12-11-2008));
- bacias hidrográficas (tema final do plano de bacia hidrográfica, versão de Dezembro de 2000, que contabiliza 19 bacias);
- sub-bacias hidrográficas (tema final do plano de bacia hidrográfica, versão de Dezembro de 2000, que contabiliza 4923 sub-bacias).

Sendo que a representação matricial do terreno resultou dos elementos vectoriais de pontos cotados e curvas de nível das folhas da carta militar, aplicam-se-lhe os valores de exactidão espacial horizontal e vertical, 2,5 metros e 8 metros respectivamente. Com o objectivo de reduzir o tempo de processamento das cerca de 45 milhões de células referentes à área de estudo da região hidrográfica do rio Guadiana, optou-se por alterar o tipo de dados que armazenava o valor das cotas (número real em vírgula flutuante de 9 casas decimais – *cm\_guad25*) para números inteiros de até 4 dígitos (*int\_guad25*), tal como indicado no Quadro 12.

Quadro 12. Características do modelo digital de terreno de base

<b>Nome</b>	<b>Tipo de matriz</b>	<b>Resolução espacial</b>	<b>N.º de células</b>	<b>Tamanho (Mb) sem compressão</b>
cm_guad25	<i>Floating point</i>	25 metros	4545 x 9843	170 Mb (32 bits)
int_guad25	<i>Integer</i>	25 metros	4545 x 9843	85.33 Mb (16 bits)

O tratamento do MDT da bacia hidrográfica do Guadiana não é descrito em detalhe por se considerar essa matéria fora do âmbito do trabalho de tese, no entanto, apresentam-se na Figura 73 os procedimentos de tratamento de informação geográfica aplicados segundo Heelweger & Maidment (1997).

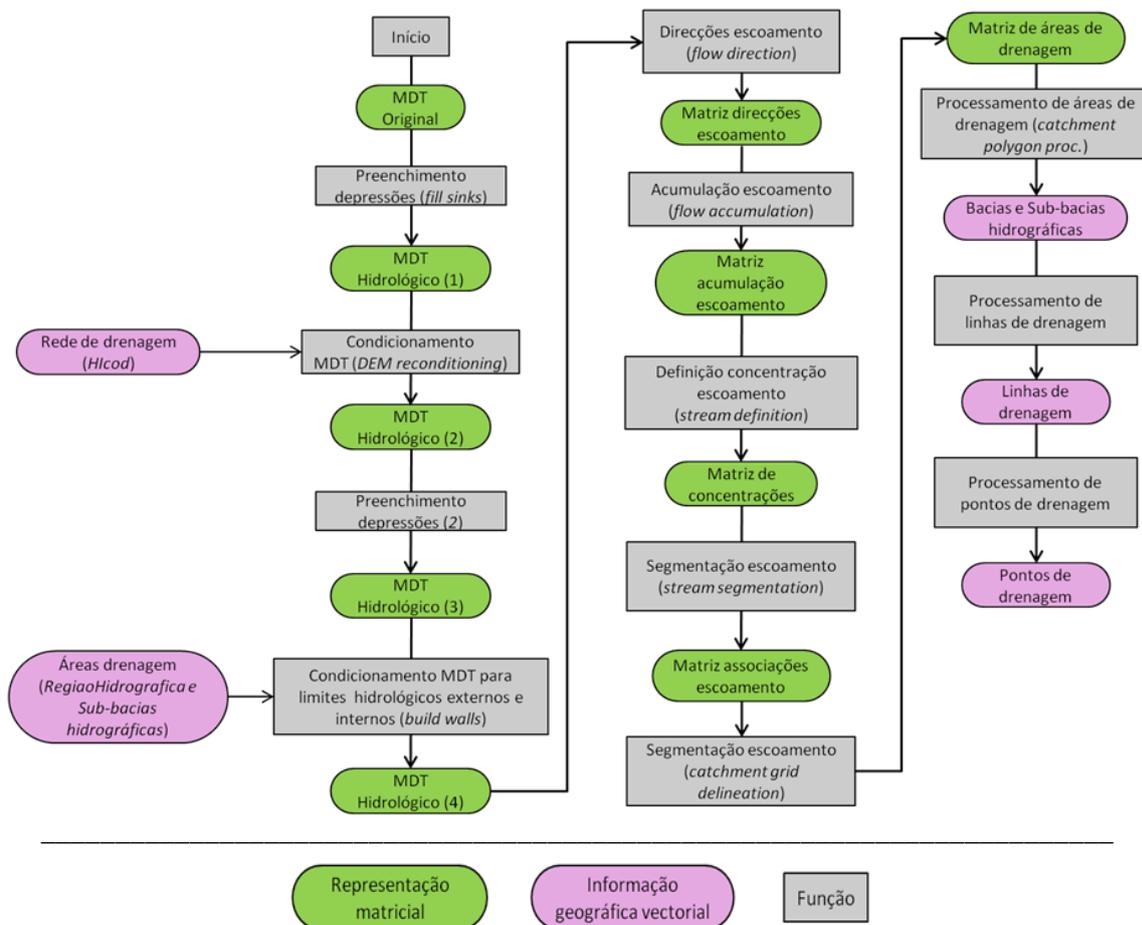


Figura 73. Esquema dos procedimentos de tratamento de informação geográfica para identificação do sistema de drenagem

## 5.7 Gestão da rede hidrográfica

No modelo lógico todas as classes de objectos que participam na constituição da rede geométrica foram declaradas no mesmo pacote UML (*RedeHidrografica*). As classes de objectos *SegmentosHidro* e *JuncoesHidro* constituem, de acordo com o respectivo diagrama de classes UML, os elementos constituintes da rede hidrográfica.

### 5.7.1 Carregamento de dados na rede geométrica

As linhas e pontos de drenagem resultantes da aplicação dos procedimentos de tratamento de informação geográfica para a identificação do sistema de drenagem serviram de base à constituição da rede hidrográfica. Adoptou-se uma área mínima para a determinação dos pontos de cabeceira de 1 Km<sup>2</sup>, resultando da aplicação deste critério em cerca de 10500 segmentos de rede hidrográfica para a região hidrográfica do rio Guadiana em território português.

As experiências feitas sobre a associação de tipos de entidades geográficas à representação da rede hidrográfica, determinaram, para o universo de discurso do MDG, que a forma mais eficiente

de implementar tais associações seria através dos nós da rede (quer reais – resultantes directamente dos arcos da rede, quer inferidos – resultantes da interpolação das localizações dos objectos associáveis à rede), utilizando para tal a associação com base nos atributos *IDHidro-IDHidroJuncao*. De acordo com o diagrama de classes relativo à rede hidrográfica, descrito na secção 4.8, considerou-se associar diversas classes de objectos à representação da rede hidrográfica, nomeadamente: estações de monitorização, infra-estruturas hidráulicas e pontos de rejeição superficiais. Exemplifica-se na Figura 74 a associação entre uma massa de água lago e nós da rede hidrográfica (representados pela classe *JuncoesHidro*).

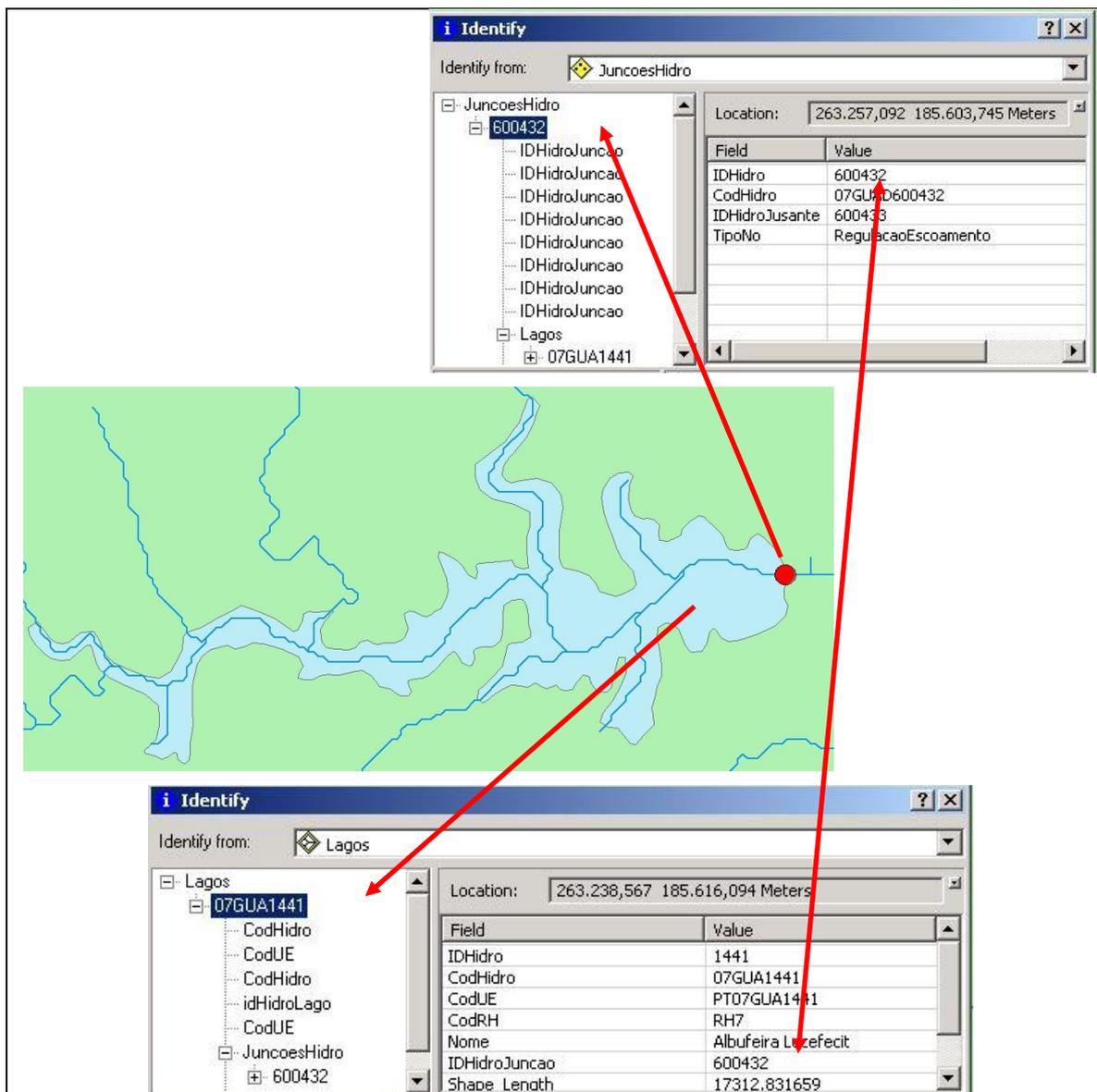


Figura 74. Associação das entidades Lagos e *JuncoesHidro* com base nos atributos *IDHidro-IDHidroJuncao*

Por inerência do processo de construção de rede hidrográfica, são gerados nós em cada um dos extremos dos arcos que a constituem, o que faz criar automaticamente os nós considerados de cabeceira e de confluência ou bifurcação. Tal implica que a criação dos nós a utilizar para associar outros objectos à rede hidrográfica possa ter de ser executada por imposição do utilizador.

Perante os testes efectuados, considera-se que a solução de associação de objectos à rede hidrográfica apresenta claras vantagens na análise espacial em rede, acrescentando mais-valia em processos de planeamento e gestão de recursos hídricos, nomeadamente na análise de pressões e respectivos impactes nas massas de água.

### 5.7.1.1 Métodos de associação de objectos à rede hidrográfica

A classe *JuncoesHidro* é utilizada para registar localizações significativas ao longo da rede hidrográfica. O procedimento que se descreve exemplifica como incorporar os nós da rede que ficam associados à localização das estações de monitorização. Recorre-se a esta associação com o objetivo de manter a localização real da estação de monitorização ou de outras entidades que estão referenciadas à rede hidrográfica (p.e. pontes ou barragens), evitando desta forma o deslocamento dessas localizações para serem sobrepostas aos arcos da rede. Sendo que os arcos da rede são do tipo complexo, são suportados nós sem que haja necessidade de uma quebra física dos segmentos da rede hidrográfica (classe *SegmentosHidro*).

A Figura 75 esquematiza a associação estabelecida entre os nós de rede que referenciam estações de monitorização e as próprias estações de monitorização. De salientar que a associação entre as estações de monitorização e os nós da rede correspondentes se concretiza através dos atributos *EstMonSuperficiais (IDHidroJuncao)/ JuncoesHidro (IDHidro)*. O valor do atributo *IDHidro* do nó da rede (classe *JuncoesHidro*) correspondente à estação de monitorização é passado para o atributo *IDHidroJuncao* da classe da estação de monitorização. Salienta-se que apenas as estações de monitorização associáveis à rede são passíveis de cumprir esta regra de partilha de valores de atributos. Estações de monitorização hidrométricas estão normalmente associadas à rede hidrográfica, mas as udométricas e/ou climatológicas podem não estar. As estações de monitorização ou locais de amostragem da qualidade da água balnear costeira não estão associadas à rede hidrográfica, uma vez que não é representada em massas de água costeiras.

Nos casos das MA lagos e de transição (representadas com recurso a polígonos) inferiu-se a localização do nó da rede hidrográfica para associação com a estação de monitorização, através da linha perpendicular ao segmento fictício que encontra a estação de monitorização na menor distância possível.

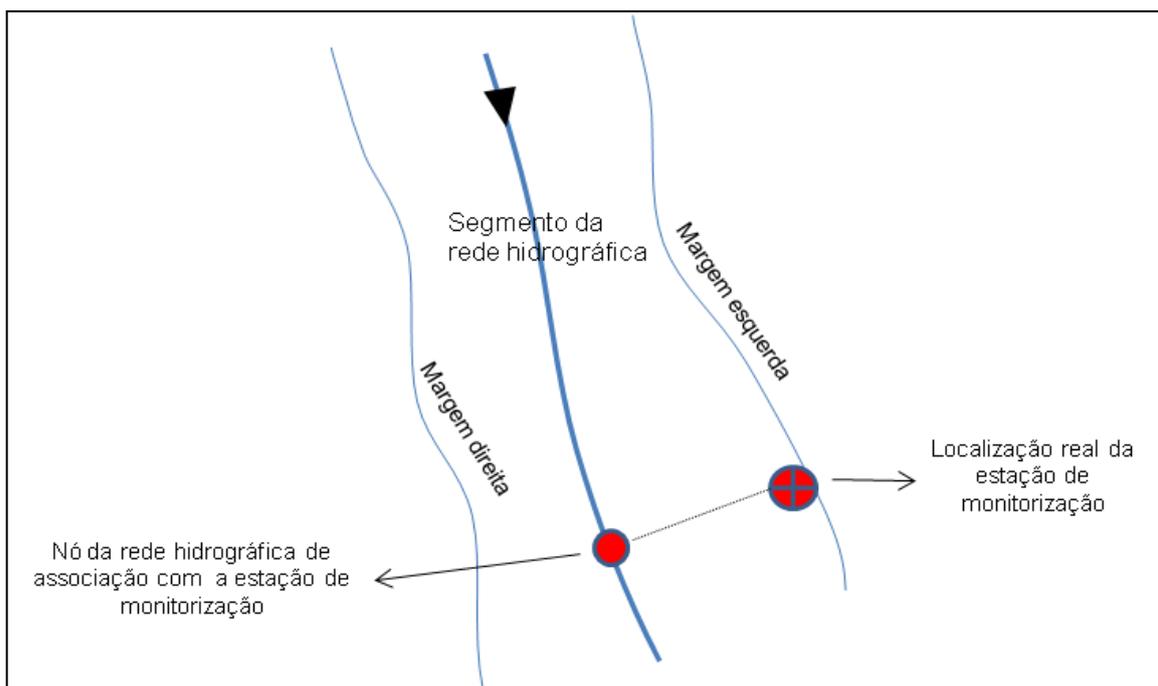


Figura 75. Esquema da associação entre o nó de rede hidrográfica e a estação de monitorização

A Figura 76 exemplifica a tarefa de inferência dos nós de rede do tipo *EstacaoMonitorizacao*.

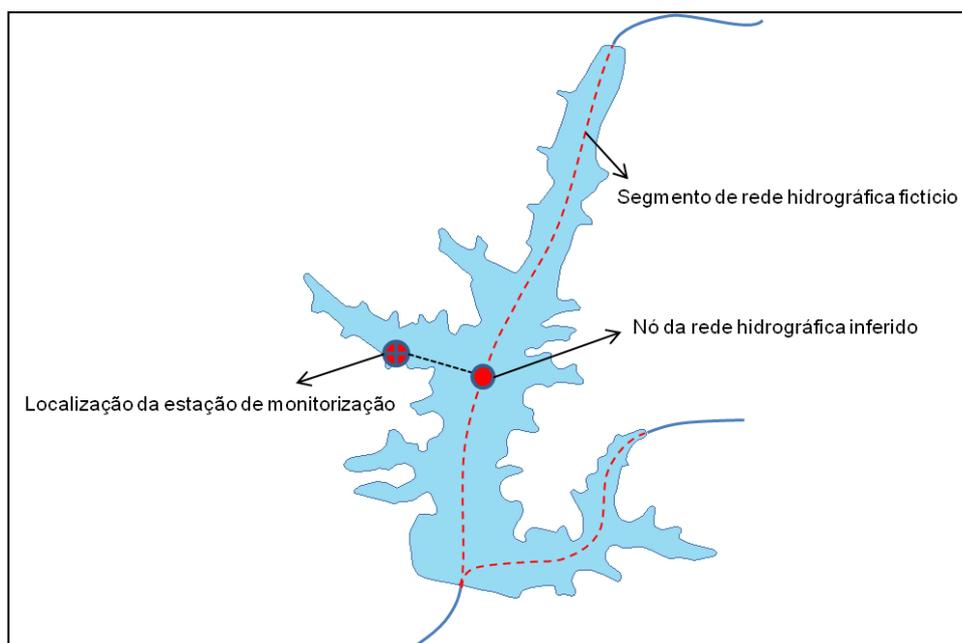


Figura 76. Inferência de nó de rede para associação com estação de monitorização

A tolerância de deslocamento (*snap tolerance*) deve ser tal que permita abranger o universo de distâncias entre as localizações reais das estações de monitorização e a representação da linha de concentração de escoamento (*SegmentosHidro*). Desta forma as estações de monitorização referenciam os nós da rede hidrográfica que lhes estão associados, tal como ilustra a Figura 77.

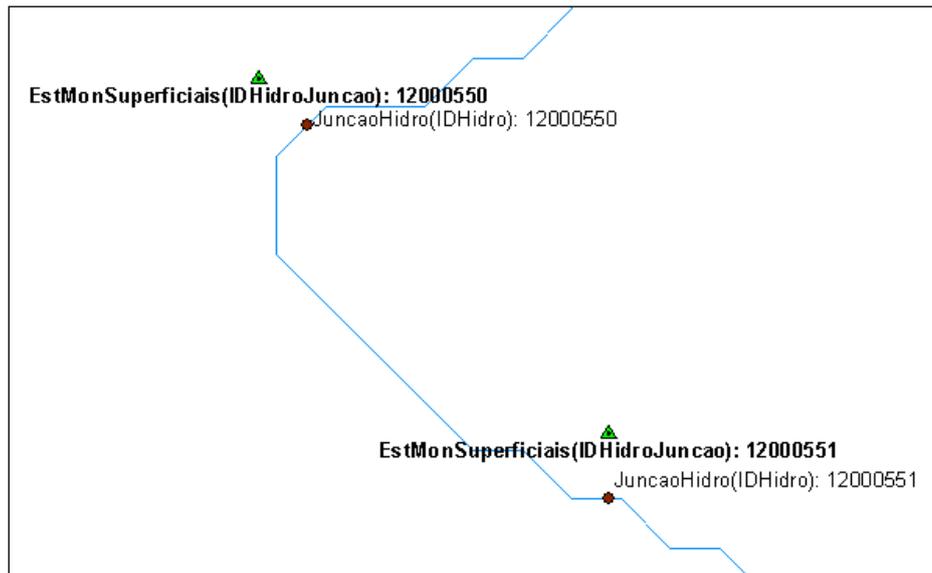


Figura 77. Novas estações de monitorização e nós de rede hidrográfica associados

A mesma metodologia de inferência dos nós da rede hidrográfica foi aplicada a locais de interesse hidrológico, infra-estruturas hidráulicas, ou objectos construídos que afectem o escoamento superficial, nomeadamente açudes, barragens, locais de alargamento ou obstrução em cursos de água, e locais de captação ou descarga de água. A Figura 78 exemplifica alguns dos tipos de nós da rede hidrográfica.

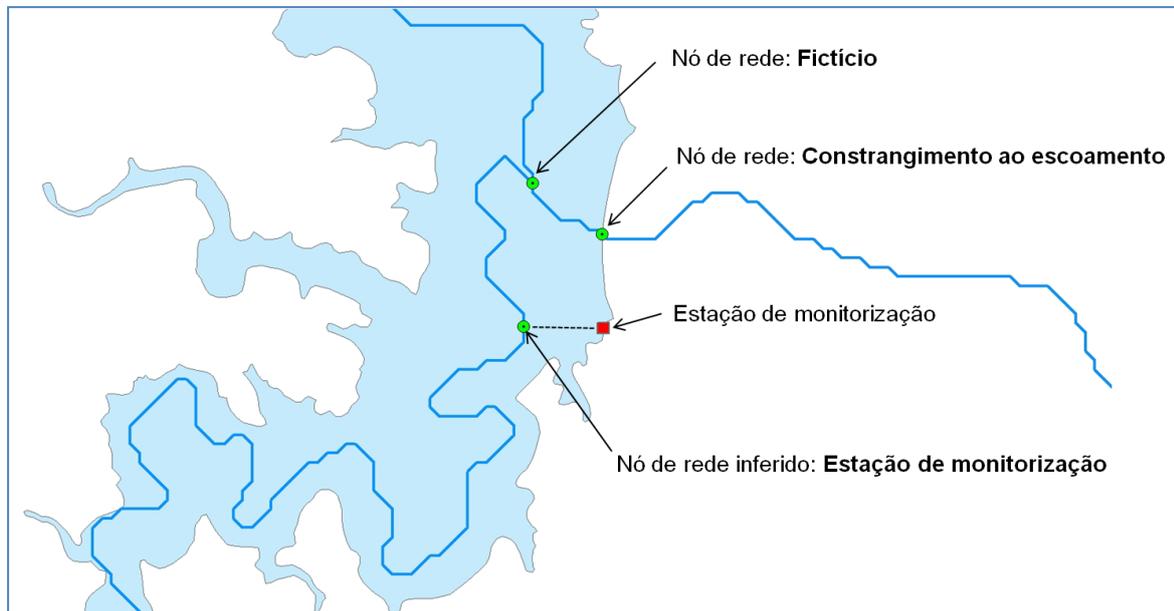


Figura 78. Exemplos de tipos de nós da rede hidrográfica

Nos testes efetuados sobre a gestão de informação optou-se por não associar directamente, à representação da rede hidrográfica, as pressões tópicas e difusas, dado que através da classe de descargas superficiais (em que o meio receptor é uma massa de água superficial) essa associação estaria garantida. Por sua vez, a associação *Pressão-Descarga* é garantida alfanumericamente através dos atributos (*IDHidro-IDHidroPressao*).

### 5.7.1.2 Atribuição do sentido de escoamento aos arcos da rede hidrográfica

Um dos atributos dos arcos da rede geométrica, frequentemente utilizado para cálculos de escoamento em massas de água superficiais, é o referente ao sentido de escoamento, pelo que a sua determinação reveste-se de um cariz particularmente relevante. Quando se pretende calcular o sentido do escoamento nos cursos de água representados, pode fazer-se depender essa representação do sentido em que foram digitalizados os segmentos da rede. Assim o atributo a partir do qual o software pode determinar o sentido do escoamento obedece a uma lista codificada de valores, tal como descrito na secção 5.7. De forma a ser garantida uma rede geométrica coerente foram considerados os seguintes aspectos de natureza topológica:

- a maioria das soluções tecnológicas que geram automaticamente redes hidrográficas segue o método de vectorização de acordo com o sentido do escoamento (de montante, para jusante). Existem, no entanto, excepções: i) o sentido do escoamento não é determinável a partir da informação geográfica sobre a rede geométrica; ii) o escoamento é variável em sentido.
- nas secções longitudinais em que o escoamento se faz no sentido contrário à vectorização, a propriedade referente ao sentido do escoamento (referente ao atributo *SentidoEscoamento*) deve reflectir esse facto;
- o nó inicial do segmento (arco da rede) deverá representar o local mais a montante do troço, devendo corresponder este a uma das seguintes situações: representar o local da nascente; representar o início da representação da concentração do escoamento; ou representar o ponto de junção de duas massas de água;
- o nó final do segmento deverá representar o local mais a jusante do troço, como o ponto de descarga (efluência); ou o local de confluência de dois cursos de água.

O sentido do escoamento pode ser representado com a leitura do atributo que armazena o seu valor e pelo conhecimento implícito da sequência de registo dos vértices que formam os arcos da rede. Pode assim representar-se, com recurso a símbolos gráficos, o sentido do escoamento em cada um dos segmentos, como ilustra a Figura 79.

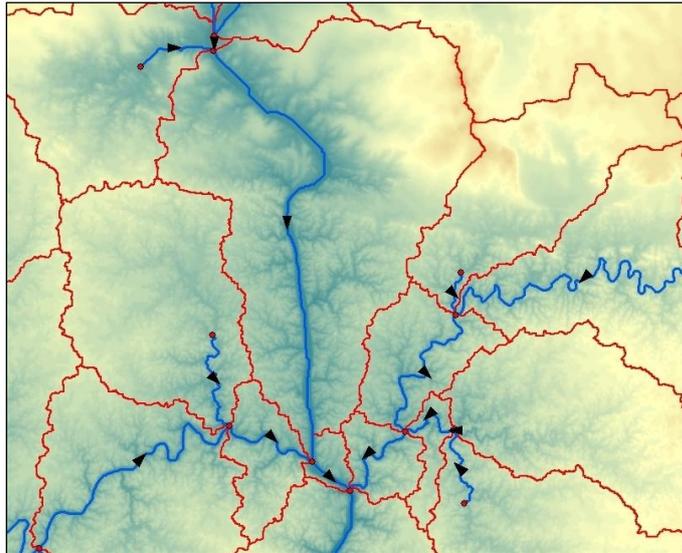


Figura 79. Representação do sentido de escoamento

### 5.7.2 Representação da rede hidrográfica no interior de massas de água superficiais

A representação dos elementos constituintes da rede hidrográfica (arcos e nós) está prevista em sobreposição a massas de água rios, lagos e de transição. No caso da sobreposição a massas de água rios os arcos da rede serão classificados como *Talvegue*, no que respeita ao atributo *TipoSegmento*. A representação da massa de água rios não deverá acontecer no interior de massas de água das categorias lagos e de transição, sendo que os arcos da rede hidrográfica representados no interior de lagos e de transição deverão estar classificados como *Fictício*. A Figura 80 apresenta um extracto do modelo lógico relativo à classificação dos arcos da rede hidrográfica (classe *SegmentosHidro*).

Assim, a existência da representação da rede hidrográfica no interior de massas de água lagos ou de transição, serve apenas propósitos de coerência de representação e de análise espacial em rede; pelo que não é usada para o registo do estado químico, ecológico ou de potencial ecológico das massas de água superficiais. A classificação do estado químico e ecológico registrar-se-á sempre associando esse valor à categoria de massa de água, e não aos elementos da rede hidrográfica. A rede hidrográfica cumpre assim funções de análise e representação hidrográfica, enquanto a representação das diversas categorias de massas de água cumprem funções de classificação de estado e constituem a base para a implementação de programas de medidas e de monitorização.

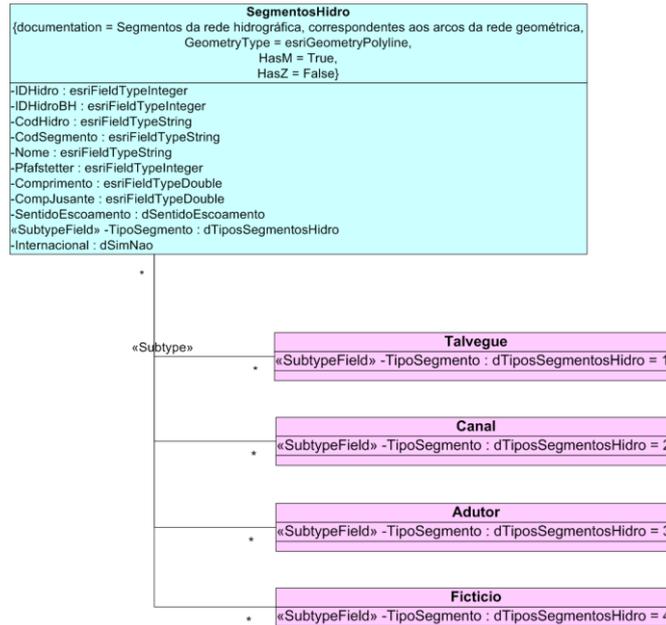


Figura 80. Elementos do MDG utilizados na classificação dos arcos da rede hidrográfica

A representação da massa de água rios deve terminar no ponto de afluência à massa de água de transição adjacente, como ilustra a Figura 81. Representação da rede geométrica de escoamento sobre uma massa de água fortemente modificada. Tal implica que, na representação da rede hidrográfica, o ponto de afluência constitua um nó da rede a partir do qual o arco seguinte (no sentido de escoamento) se altera para o subtipo *Ficticio*. O mesmo acontece com a representação de uma linha de concentração de escoamento no interior de um lago. Neste caso, no encontro de um rio com uma albufeira (linha/polígono), a linha que representa a massa de água da categoria *rios*, passa de um subtipo *Talvegue*, para um subtipo *Ficticio*. Este procedimento tem a finalidade de criar uma rede geométrica contínua, a partir da qual possa ser simulado o escoamento superficial e a dispersão de poluentes.

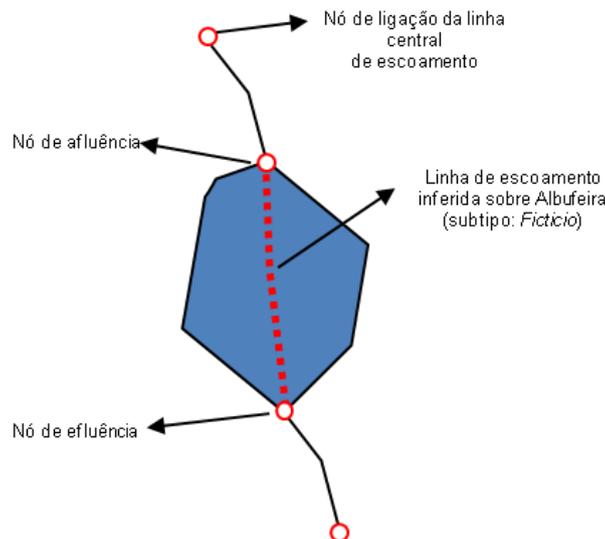


Figura 81. Representação da rede geométrica de escoamento sobre uma massa de água fortemente modificada

Nos casos em que existem vários segmentos a iniciarem-se ou a finalizarem no limite de uma massa de água superficial (p.e. lagos ou de transição) a representação geométrica far-se-á como ilustra a Figura 82. No interior da massa de água tem de ser garantida uma continuidade e conectividade da rede, implicando assim que tanto os segmentos, como os nós da rede, sejam classificados com o sub-tipo *Fictício*.

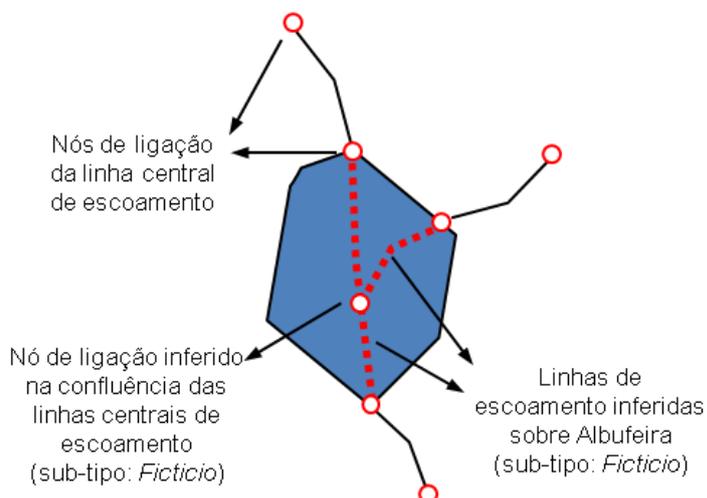


Figura 82. Rede geométrica de escoamento inferida no interior de uma massa de água

Com a criação dos subtipos “canal” e “adutor” (da classe *SegmentosHidro*), pretendeu-se caracterizar este tipo de infra-estruturas pela relevância que apresentam para exercícios de balanço hídrico. Canais de rega como os da Albufeira de Lucefécit e do Caia foram reportados como massas de água artificiais, no âmbito do artigo 5.º, como ilustra a Figura 83.



Figura 83. Representação dos canais de rega da Albufeira de Lucefécit de acordo com o reportado no artigo 5º da DQA

### 5.7.3 Análise espacial da rede hidrográfica

Tirando partido da integração de todos os segmentos hidrográficos numa rede geométrica é possível efectuar um conjunto de análises, nomeadamente a selecção de todos os segmentos a jusante de um local seleccionado na rede hidrográfica, como exemplifica a Figura 84. Neste caso, selecciona-se o conjunto de troços da rede hidrográfica, para jusante no sentido do ponto de descarga do sistema, a partir do local assinalado a verde.

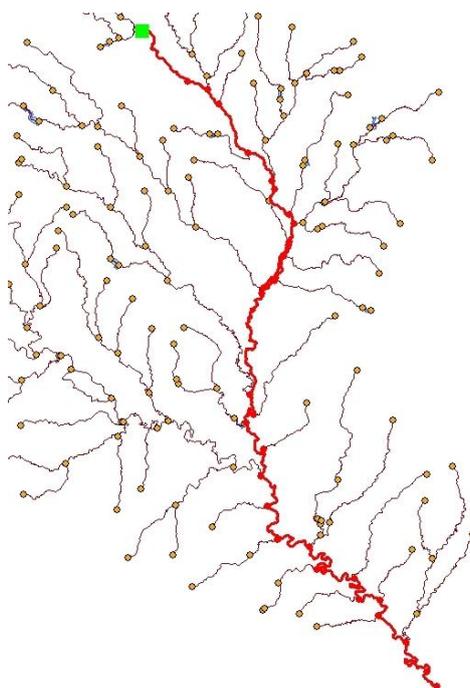


Figura 84. Selecção do percurso de escoamento para jusante até ao ponto de descarga da rede

Com esta selecção, podem também obter-se os objectos que se encontram integrados na rede e registados como *JuncoesHidro*, como, por exemplo, as estações de monitorização, infra-estruturas hidráulicas, ou captações superficiais. Todos os objectos que forem seleccionáveis ao longo do percurso do escoamento, e que se encontrem associados com base em associações *IDHidro-IDHidroJuncao* podem ser seleccionados por associação aos nós da rede. Neste caso, tira-se novamente partido das relações alfanuméricas estabelecidas entre as classes associadas aos nós da rede hidrográfica (*JuncoesHidro*). Após o carregamento de objectos que serão parte integrante da rede hidrográfica, é então possível gerar essa mesma rede tendo em consideração temas de informação geográfica que participam na construção dessa mesma rede.

Quando integrados, numa rede geométrica, cada segmento de curso de água deve possuir: um nó de início, e um nó de fim. Quando ao longo da rede existirem locais hidrologicamente relevantes a considerar (estação de monitorização, açude, ou captação de água), estes são assinalados com um nó característico (atributo *TipoNo*, da classe *JuncoesHidro*), interrompendo-se nesse local o segmento representativo da linha central do escoamento, e iniciando-se um novo arco (representado pelo segmento da rede).

### 5.7.4 Representação de entidades geográficas com dependência dos limites do leito

A representação da delimitação das margens dos cursos de água definem-se de acordo com a natureza da massa de água, no que respeita às condições de navegabilidade e/ou fluviabilidade, considerando para tal os limites naturais da massa de água (representados pela classe *LimitesLeito*, pacote UML *Hidrografia*). Os limites do domínio público hídrico (DPH) são calculados a partir das linhas de limite do leito da massa de água, tendo em consideração as especificidades para as várias condições de delimitação do domínio público hídrico (DGOTDU, 2005). Assim, para a condição em que a massa de água é navegável e/ou fluviável, podem delimitar-se os limites do leito (classe *LimitesLeito*) e a linha de representação do escoamento, de acordo com as opções referidas como aceitáveis na Figura 85.

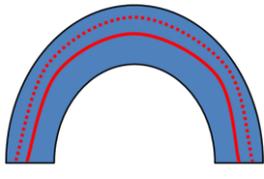
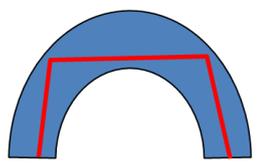
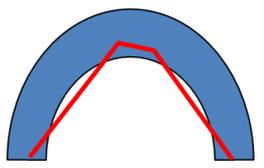
	<p><b>Erro de representação.</b> A linha central do escoamento é representada fora da área correspondente aos limites do leito da massa de água</p>
	<p><b>Aceitável.</b> A linha central é representada dentro da área correspondente à massa de água.</p>
	<p><b>Aceitável.</b> A linha central é representada dentro da área correspondente à massa de água</p>
	<p><b>Não aceitável.</b> A linha central é representada dentro da área correspondente à massa de água embora não representando correctamente a sua forma</p>
	<p><b>Não aceitável.</b> A linha central é representada fora da área correspondente à massa de água</p>

Figura 85. Exemplos de representação da linha central do escoamento no interior da representação das massas de água superficiais (Adaptado da especificação de dados INSPIRE – tema hidrografia)

As zonas adjacentes estão também consideradas no MDG, representando as zonas ameaçadas pelo mar ou pelas cheias que tenham sido objecto de portaria de classificação da responsabilidade do Ministro do Ambiente (art. 22º a 25º da Lei n.º 54/2005 e art. 4.º da LA). As zonas adjacentes são contíguas às margens das massas de água (art. 11.º da Lei n.º 54/2005 e art. 4.º da Lei n.º 58/2005), sendo que por essa razão estabelecem entre si uma relação topológica de adjacência, embora com excepções quando as zonas ameaçadas pelo mar ou pelas cheias não ultrapassem o limite da representação de margem. As zonas adjacentes estendem-se desde o limite da margem até uma linha convencional definida, para cada caso, em planta anexa à portaria de classificação e

que contem dentro desta, as áreas de ocupação edificada proibida e as áreas de ocupação edificada condicionada (art. 22.º e 25.º da Lei n.º 54/2005).

### 5.7.5 Navegação área-área através das áreas de drenagem

Um dos objectivos do desenvolvimento de uma eficiente estrutura de dados geográficos é o de possibilitar um conjunto de análises espaciais, nomeadamente permitir calcular as dependências entre bacias ou sub-bacias hidrográficas. Tal possibilita, sem recurso à representação da rede hidrográfica, analisar que bacias influenciam hidrológicamente outras, quer para montante quer para jusante. Esta funcionalidade permite calcular regiões de influência hidrológica com base nos valores dos atributos *IDHidro-IDHidroJusante* dos objectos das classes *BaciasHidrográficas* e *SubBaciasHidrograficas*. A Figura 86 exemplifica a selecção automática de áreas de drenagem de montante a partir da selecção de uma única área de drenagem.

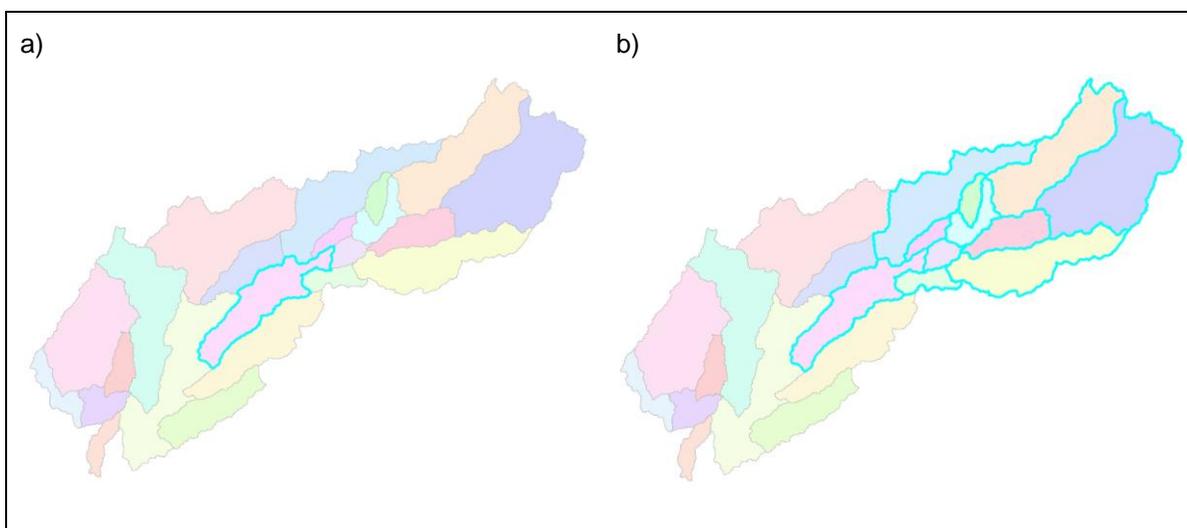


Figura 86. Identificação de áreas de influência hidrológica: a) selecção de uma área de drenagem; b) selecção automática das áreas de drenagem de montante.

## 5.8 Avaliação do estado das massas de água

As classes de estado das MA superficiais baseiam-se na observação de um conjunto de parâmetros respeitantes aos elementos de qualidade (biológicos, hidromorfológicos, físico-químicos, e quantitativos), tal como descrito no Decreto-Lei n.º 77/2006. A avaliação do estado ecológico e potencial ecológico, no âmbito da implementação da DQA, está definida pelo documento-guia n.º 13 (EC, 2003b). A monitorização química das massas de água superficiais está definida pelo documento-guia n.º 19 (EC,2009g). O que interessou assegurar ao nível do MDG no que respeita à avaliação do estado das MA superficiais foram os seguintes aspectos:

- localização das estações de monitorização ou pontos de amostragem dos parâmetros dos elementos de qualidade;

- caracterização da situação de referência por cada tipologia de massa de água;
- registo dos valores dos parâmetros dos elementos de qualidade, tipificados por categorias;
- possibilidade de aferir quais os elementos de qualidade responsáveis pelas classificações abaixo de “Bom” ou “Excelente”;
- viabilizar a interpolação dos valores dos parâmetros dos elementos de qualidade ao longo da rede hidrográfica.

### **5.9 Representação dos elementos de qualidade por referenciação pontual e linear**

A avaliação dos elementos de qualidade biológicos, hidromorfológicos, físico-químicos, e quantitativos foi considerada obrigatória na avaliação do estado das massas de água (European commission, 2005), sendo as técnicas de referenciação linear e pontual um método para representar os impactos das cargas poluentes resultantes das pressões antropogénicas que influenciam o meio hídrico superficial. A aplicação da segmentação dinâmica de entidades geográficas por referência linear e pontual está prevista ser aplicada aos objectos da classe *SegmentosHidro*. A segmentação dinâmica das entidades geográficas representadas não está ainda formalizada nas normas ISO (ISO/FDIS 19148, em desenvolvimento), nem nas especificações do WISE, ou INSPIRE - Hidrografia (INSPIRE, 2010). A especificação INSPIRE - Hidrografia, apesar de não detalhar a sua aplicação, recomenda o seu uso. A norma ISO 19148 (*location based services – linear referencing system*) não atingiu ainda o estado de esboço de norma internacional da ISO (*draft international standard*); e o documento-guia da implementação dos elementos SIG da DQA (European Commission, 2009d) não refere qualquer utilização desta técnica.

No trabalho desenvolvido foi reconhecida a relevância da sua utilização para o cálculo e apresentação das classes de classificação dos elementos de qualidade, e respectivos estados químico e ecológico das massas de água, ou de potencial ecológico quando se tratem de massas de água fortemente modificadas ou artificiais. Esta técnica foi aplicada à rede hidrográfica através da referenciação do seu código identificador, e das métricas das variáveis que se desejavam apresentar.

No que respeita à possibilidade de extrapolar valores, ou classes dos elementos de qualidade, onde não estivessem disponíveis dados observados ou amostrados, foi fundamental recorrer-se à representação da rede hidrográfica topologicamente correcta e aos sistemas de referenciação paramétricos para o uso das técnicas de referenciação linear e pontual (INSPIRE, 2010a).

A região hidrográfica correspondente à bacia hidrográfica do rio Guadiana sob jurisdição do Estado Português, possui 54 massas de água monitorizadas<sup>86</sup>, num universo de 228 massas de água superficiais (INAG, 2005); o que significa que apenas 23,68% das massas de água daquela região hidrográfica possuem dados de monitorização regulares obtidos em estações de monitorização (referentes a parâmetros dos elementos de qualidade) considerados na aferição do estado das MA. Estas lacunas de informação implicam que haja a necessidade de extrapolar os valores dos parâmetros monitorizados a fim de atribuir a correcta classificação de estado àquelas MA, e zonas protegidas, que não possuem estações de monitorização implementadas (de vigilância ou operacional), ou que, por outro lado, não tenham quantificadas e qualificadas as pressões e impactes a que estão sujeitas.

A interpolação dos valores dos parâmetros monitorizados foi feita a partir dos locais de amostragem, nomeadamente aqueles pertencentes a estações de monitorização. Foi estipulado que os referenciais de coordenada M seriam individuais para cada curso de água, e que tinham o seu início (coordenada M=0) no seu ponto mais a jusante.

Note-se que cada massa de água pode ser constituída por diversos segmentos individuais, sendo que tal implica que todos os segmentos possuam códigos distintos, e que o valor do código identificador nacional se mantenha (*CodHidro*). Todas as massas de água que pertencem ao mesmo curso de água possuem uma identificação comum ao nível do nome do curso de água Rio (*NomeRio*). A Figura 87 apresenta parte dos atributos do tipo de entidades geográficas referente a rios.

CodUE	CodRH	CodHidro	CodSegmento	Nome	NomeRio
PT07GUA1428I2	PTRH7	07GUA1428I2	PTRIVSEG3696	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Caia e Açude Badajoz)	Rio Guadiana
PT07GUA1428I2	PTRH7	07GUA1428I2	PTRIVSEG3697	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Caia e Açude Badajoz)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3921	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3922	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3923	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3924	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3925	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3926	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1530	PTRH7	07GUA1530	PTRIVSEG3927	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante B. Alqueva)	Rio Guadiana
PT07GUA1588	PTRH7	07GUA1588	PTRIVSEG4080	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante Bs. Alqueva e Enxoé)	Rio Guadiana
PT07GUA1588	PTRH7	07GUA1588	PTRIVSEG4081	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante Bs. Alqueva e Enxoé)	Rio Guadiana
PT07GUA1588	PTRH7	07GUA1588	PTRIVSEG4082	Rio Guadiana (HM/VB - Jusante Bs. Alqueva e Enxoé)	Rio Guadiana

Figura 87. Tabela de atributos do tipo de entidades referente a rios

A Figura 88, composta por duas imagens, mostra os arcos da rede hidrográfica que drenam para a ribeira de Odearce (bacia hidrográfica do rio Guadiana). Na imagem da esquerda é possível identificar, por distinção de cor, cada segmento das massas de água; e na imagem da direita,

<sup>86</sup> Fonte: especificações técnicas do caderno de encargos do concurso público para a elaboração do plano de gestão das bacias hidrográficas integradas da região hidrográfica 6 e 7 (Julho de 2009).

devido à atribuição da mesma simbologia a iguais valores do atributo *CodHidro*, é possível identificar todos os segmentos com igual valor de *CodHidro*.

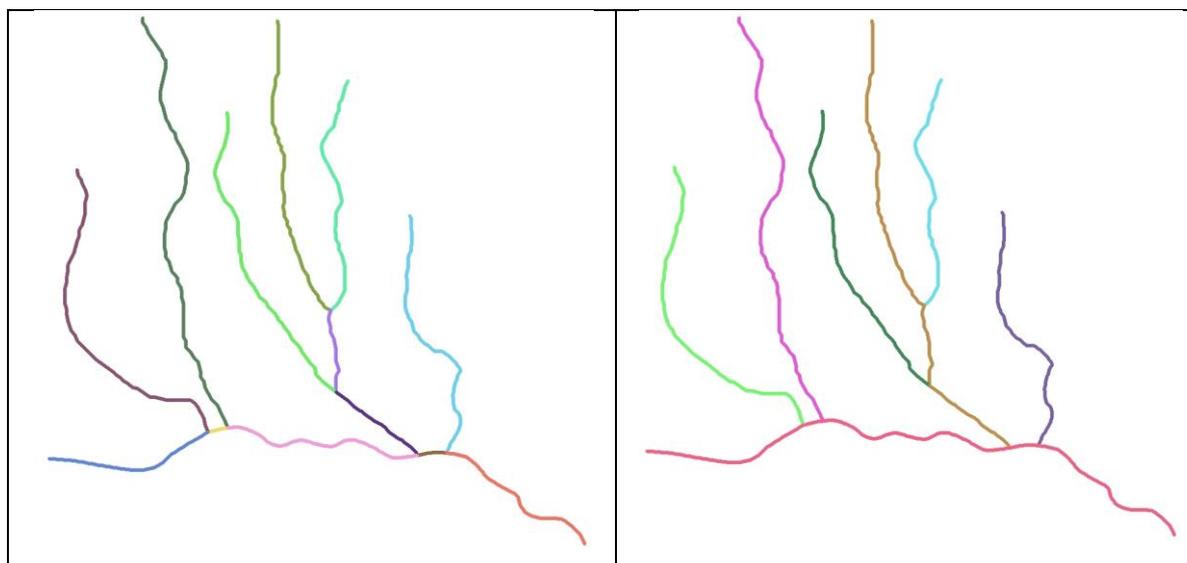


Figura 88. Representação da rede hidrográfica da ribeira de Odearce

A tabela de atributos correspondente à rede hidrográfica apresentada na Figura 88, está representada na Figura 89, sendo de salientar os valores dos atributos de *CodHidro* e *CodSegmento*. A segmentação dinâmica por referência pontual e linear baseia-se nos valores do atributo *CodHidro*, dado que a todos os segmentos, que compõem cada massa de água, está atribuído o mesmo valor deste atributo.

	<b>CodUE</b>	<b>CodHidro</b>	<b>Nome</b>	<b>CodSegmento</b>	<b>Sistema</b>	<b>Modificada</b>
	PT07GUA1516	07GUA1516	Ribeira de Odearce	PTRIVSEG3895	B	N
	PT07GUA1516	07GUA1516	Ribeira de Odearce	PTRIVSEG3896	B	N
	PT07GUA1516	07GUA1516	Ribeira de Odearce	PTRIVSEG3897	B	N
	PT07GUA1516	07GUA1516	Ribeira de Odearce	PTRIVSEG3898	B	N
	PT07GUA1505	07GUA1505	Ribeira de Selmes	PTRIVSEG3866	B	N
	PT07GUA1505	07GUA1505	Ribeira de Selmes	PTRIVSEG3867	B	N
	PT07GUA1505	07GUA1505	Ribeira de Selmes	PTRIVSEG3868	B	N
	PT07GUA1505	07GUA1505	Ribeira de Selmes	PTRIVSEG3869	B	N
	PT07GUA1505	07GUA1505	Ribeira de Selmes	PTRIVSEG3870	B	N
	PT07GUA1504	07GUA1504	Barranco do Cabaço	PTRIVSEG3865	B	N
▶	PT07GUA1503	07GUA1503	Ribeiro do Freixo	PTRIVSEG3864	B	N

Figura 89. Tabela de atributos da rede hidrográfica da ribeira de Odearce

O procedimento de agrupamento dos troços de massas de água superficiais (rios, neste caso), é parte integrante da preparação da rede hidrográfica para que lhe possa ser aplicada a segmentação dinâmica para referência linear ou pontual. Como referido, optou-se por considerar como referência de coordenada M, o ponto mais a jusante de todas os cursos de água. O resultado da operação de geração da rede hidrográfica para segmentação dinâmica resulta na agregação de todos os registos com um valor de *CodHidro* igual, e conseqüentemente na capacidade de reportar os eventos lineares ou pontuais a cada curso de água, e para métricas específicas registadas nas tabelas de eventos (*EventosLinearesHidro* e *EventosPontuaisHidro*). A

primeira tabela, tal como o nome indica, armazena eventos lineares (por referência de um nó de início e um nó de fim), sendo que a segunda tabela armazena dados dos eventos pontuais (apenas com um valor de coordenada M). A Figura 90 apresenta os referenciais para segmentação dinâmica de todos os cursos de água da rede hidrográfica exemplificada.



Figura 90. Referenciais métricos para segmentação dinâmica da rede hidrográfica

O processo de interpolação dos valores de pressões e dos parâmetros dos elementos de qualidade executou-se sobre a representação da rede hidrográfica (classe *SegmentosHidro*), e a partir dos dados registados nas tabelas *EventosLinearesHidro* e *EventosPontuaisHidro*. A secção seguinte detalha as funcionalidades de segmentação dinâmica proporcionadas pelo desenho do modelo lógico para a avaliação e mapeamento do estado ecológico e químico das massas de água superficiais.

### 5.9.1 Representação dos efeitos das pressões tópicas e difusas por referenciação linear e pontual

No âmbito da caracterização das regiões hidrográficas inclui-se a identificação das pressões naturais e antropogénicas significativas, qualitativas e quantitativas, sobre as águas de superfície. Nesta análise, distinguem-se sobretudo cinco grandes grupos:

1. pressões qualitativas pontuais;
2. pressões qualitativas difusas;
3. pressões quantitativas;
4. pressões morfológicas e hidromorfológicas;

5. pressões biológicas.

De forma a poder aferir sobre o impacte das pressões tóxicas sobre as massas de água é necessário conhecer a localização geográfica aproximada das instalações, e caso exista (m), o ponto(s) de rejeição. A Figura 91 ilustra um exemplo do cálculo dos locais de descarga para indústrias transformadoras para as quais não se conhecia o local de rejeição oficial. As localizações encontradas (círculos verdes) estão representadas sobre os arcos da rede hidrográfica, sendo cada uma rotulada com a distância (em metros) em relação ao ponto mais a jusante do curso de água em que se localizam. Este resultado é possível tirando partido da referência pontual com base em geocódigos, designados também por sistemas de coordenadas paramétricos (INSPIRE, 2010a).



Figura 91. Cálculo dos locais de descarga de indústrias transformadoras

De salientar que a estimativa dos locais de rejeição, que se apresentam na Figura 91, não tiveram em conta a matriz de direcções de escoamento superficial, mas sim a distância linear mínima a que cada instalação industrial se encontra da representação do talvegue da massa de água superficial mais próxima. As localizações das rejeições indústrias estimadas são armazenadas nas tabelas alfanuméricas de eventos pontuais (*EventosPontuaisHidro*), que possuem a estrutura que se apresenta na Figura 92.

CodHidro	Desvio	Descricao	Medida
PTRIVSEG3869	0	Azeite	8205,6133
PTRIVSEG3869	0	Azeite	8724,921427
PTRIVSEG3864	0	Curtumes	10324,124999
PTRIVSEG3869	0	Alimentar	8958,180601
PTRIVSEG3864	0	Curtumes	10156,227286
PTRIVSEG3864	0	Alimentar	10592,654109
PTRIVSEG3869	0	Produtos metálicos	8980,014835

Figura 92. Tabela de eventos pontuais respeitantes aos locais de rejeição estimada de indústrias transformadoras

A partir destas localizações poder-se-á mapear o efeito das respectivas cargas poluentes (normalmente para jusante), propagando o seu efeito ao longo das massas de água superficiais afectadas. Para cumprir esse objectivo, utilizou-se a tabela de registos de eventos lineares e as medidas de localização dos locais de rejeição estimados das fontes poluidoras. A tabela de eventos lineares foi povoada tendo por base os valores do atributo *Medida* da tabela de eventos pontuais, subtraindo a estes um valor estimado do efeito dessas pressões sobre a massa de água. A Figura 93 apresenta os registos da tabela *EventosLinearesHidro* para o exemplo das indústrias transformadoras referenciadas desde a Figura 91.

CodHidro	Desvio	Descricao	DeMedida	ParaMedida
PTRIVSEG3864	50	Alimentar	10592,7	6592,7
PTRIVSEG3869	50	Alimentar	8958,2	4958,2
PTRIVSEG3869	150	Azeite	8724,9	6224,9
PTRIVSEG3869	100	Azeite	8205,6	5705,6
PTRIVSEG3864	150	Curtumes	10156,2	8656,2
PTRIVSEG3864	100	Curtumes	10324,1	7824,1
PTRIVSEG3869	200	Produtos metálicos	8980	7480

Figura 93. Estrutura e registos da tabela *EventosLinearesHidro*

Pode quantificar-se assim o efeito dos efluentes descarregados nas massas de água superficiais receptoras com base no autocontrolo previsto nas licenças de descarga, ou, na ausência desta, considerar os resultados dos parâmetros CBO5, CBO e SST, tal como proposto no relatório do INAG referente à implementação do art. 5.º da DQA (INAG, 2005). Além destes, podem ser considerados outros parâmetros relevantes para a análise da actividade industrial em causa. Independentemente do tipo de indústria, dos parâmetros de qualidade dos efluentes, e dos seus respectivos valores, o que se pretende evidenciar é a forma como o MDG possibilita a utilização da referenciação linear para a representação e análise dos efeitos desse tipo de pressões tóxicas.

De evidenciar que as diferenças entre os valores dos atributos *DeMedida* e *ParaMedida* que constam da tabela resultam de uma quantificação média anual dos seus efluentes, bem como da sua composição química. Para este exemplo em concreto consistem meramente valores indicativos, dado não ser o objectivo desta descrição analisar os dados *per si*, mas sim a funcionalidade que a referida estrutura de dados possibilita. A Figura 94 ilustra a representação geográfica da tabela de eventos lineares, expondo geograficamente o efeito que cada uma das pressões tóxicas tem sobre a massa de água superficial receptora dos respectivos efluentes.

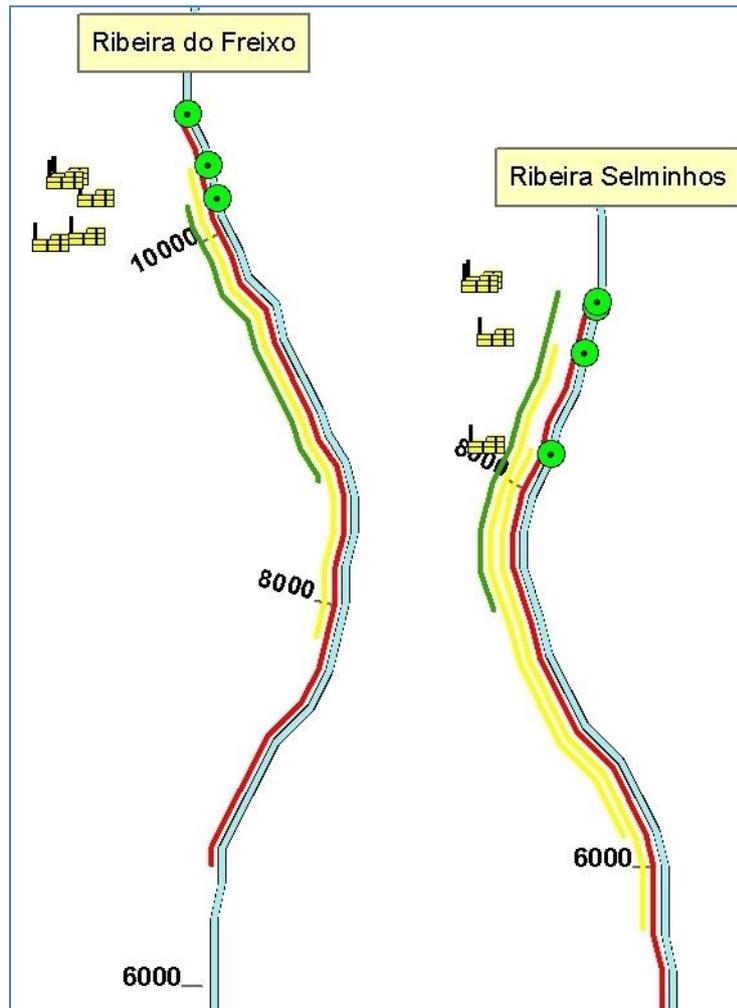


Figura 94. Representação das influências das pressões tóxicas sobre as massas de água superficiais receptoras

Uma análise posterior desses efeitos teria que quantificar quantas sobreposições, e de que natureza, existiam sobre cada troço do curso de água, fazendo reportar as respectivas classificações a cada massa de água, tal como exige a legislação aplicável (alínea b) do n.º 1 do artigo 29.º da LA, e do art.º 2.º e anexo II do Decreto-Lei n.º 77/2006). A quantificação e classificação do estado final da massa de água superficial (nomeadamente o estado químico) deverá ter necessariamente em conta as pressões deste tipo, sendo que a metodologia de referência pontual e linear demonstra ser eficaz para este tipo de análise, na medida em que permite expor uma simulação dos efeitos das cargas poluentes ao longo dos segmentos da massa de água, e de acordo com o sentido do seu escoamento.

### 5.9.2 Controlo de qualidade dos dados

O conceito de qualidade de informação geográfica é habitualmente abordado através de componentes, designadas por elementos de qualidade. A norma ISO 19131 estabelece que uma especificação de informação geográfica deve abranger elementos de qualidade de dados e sub-elementos de qualidade de dados, estes últimos definidos na norma ISO 19113. Já a norma ISO 19114 (ISO 19114, 2003) estabelece o enquadramento para os procedimentos de determinação e avaliação da qualidade de conjuntos de dados geográficos digitais. Os elementos de qualidade a considerar são os respeitantes a: completude; consistência lógica; exactidão posicional; exactidão temporal e exactidão temática.

Apesar de os elementos de qualidade se aplicarem sobretudo aos dados interessa no entanto salientar, no âmbito do modelo de dados desenvolvido, o elemento de consistência lógica. Este elemento de qualidade compreende os erros topológicos, que consistem basicamente na não correspondência entre a estrutura topológica dos objectos e a natureza das entidades que representam (Matos, 2008). Um dos exemplos é o de conectividade não existente entre arcos e nós da rede hidrográfica.

Destaca-se este elemento de qualidade por se ter optado por incluir no modelo físico de dados mecanismos para apoio à sua detecção, avaliação e correção. Neste contexto considerou-se relevante garantir a existência de um número finito de possibilidades de relacionamento topológico entre objectos do tipo pontual, linear e aureolar, em que se aplica uma matriz de nove elementos (Jen & Boursier, 1994 *in* Matos, 2008). De acordo com este modelo existem seis tipos de relacionamento entre objectos: ponto - ponto; ponto - linha; ponto - polígono; linha - linha; linha - polígono; polígono - polígono. Transportando estes conceitos para o modelo físico foram declaradas as regras topológicas que constam do Quadro 13.

Quadro 13. Conjunto de regras topológicas implementadas no modelo físico de dados

Classe geográfica a que se aplica	Regra topológica	Classe geográfica associada
<b>UML: Drenagem</b>		
LinhasDrenagem	Não se devem auto-interceptar	
LinhasDrenagem	Não se devem auto-sobrepor	
PontosDrenagem	Devem estar sobrepostos a	LinhasDrenagem
<b>UML: Hidrografia</b>		
Rios	Não se devem auto-interceptar	
Rios	Não se devem auto-sobrepor	
Lagos	Não se devem sobrepor	
Lagos	Não se devem sobrepor com	Transicao
Lagos	Não se devem sobrepor com	Costeiras
Lagos	Partilha fronteira com	Margens
Transição	Não se devem sobrepor	
Costeiras	Não se devem sobrepor	
Costeiras	Não devem haver falhas de adjacência	
LimitesLeito	Não se devem auto-interceptar	
LimitesLeito	Não se devem auto-sobrepor	
Margens	Não se devem auto-sobrepor	
Margens	Não se devem sobrepor com	ZonasAdjacentes
<b>UML: Rede hidrográfica</b>		

<b>Classe geográfica a que se aplica</b>	<b>Regra topológica</b>	<b>Classe geográfica associada</b>
NosGrafos	Devem estar sobrepostos a	SegmentosGrafos
SegmentosGrafos	Não se devem auto-interceptar	
SegmentosGrafos	Devem ser elementos únicos (sem multi-partes)	
SegmentosGrafos	Nós finais devem estar representados por	NosGrafos
<b>UML: Secções e perfis (hidráulica fluvial)</b>		
PerfisLongitudinais	Não se devem sobrepor	
PerfisLongitudinais	Não se devem auto-sobrepor	
PerfisLongitudinais	Não se devem auto-interceptar	
PerfisLongitudinais	Não se devem interceptar	
PerfisLongitudinais	Não deve conter multi-partes	
SeccoesTransversais	Não se devem sobrepor	
SeccoesTransversais	Não se devem auto-sobrepor	
SeccoesTransversais	Não se devem auto-interceptar	
SeccoesTransversais	Não se devem interceptar	
SeccoesTransversais	Devem ser elementos únicos	
<b>UML: Unidades de gestão</b>		
RegioesHidrograficas	Não se devem sobrepor	
RegioesHidrograficas	Não deve haver falhas de adjacência	
RegioesHidrograficas	Deve conter	AutoridadesCompetentes
RegioesHidrograficas	Devem cobrir totalmente	BaciasHidrograficas
BaciasHidrograficas	Não se devem sobrepor	
BaciasHidrograficas	Não devem haver falhas de adjacência	
BaciasHidrograficas	Devem cobrir totalmente	SubBaciasHidrograficas
SubBaciasHidrograficas	Não se devem sobrepor	
SubBaciasHidrograficas	Não devem haver falhas de adjacência	
LimitesMaritimos:LinhaBase	Devem ser cobertos por	RegioesHidrograficas
<b>UML: Zonas inundáveis</b>		
ZonasCheiasNaturais	Não se devem auto-sobrepor	
ZonasCheiasArtificiais	Não se devem auto-sobrepor	
<b>UML: Zonas protegidas</b>		
EspeciesAquaticas	Não se devem auto-sobrepor	
EspeciesAquaticas	Não se devem interceptar	
PaisagemProtegida	Não se devem sobrepor	
ParqueNacional	Não se devem sobrepor	
ParqueNacional	Não se devem sobrepor com	ReservaNatural
ParqueNacional	Não se devem sobrepor com	ParqueNatural
ParqueNatural	Não se devem sobrepor	
ParqueNatural	Não se devem sobrepor com	ReservaNatural
ParqueNatural	Não se devem sobrepor com	ParqueNacional
ReservaNatural	Não se devem sobrepor com	ParqueNatural
ReservaNatural	Não se devem sobrepor com	ParqueNacional

Resumindo, os critérios topológicos aplicáveis a massas de águas superficiais são os seguintes:

- massas de água rios, lagos, transição e costeiras não se podem sobrepor entre si;
- rios não se podem interceptar nem auto-interceptar;
- todas as massas de água superficiais deverão estar incluídas em regiões hidrográficas, e consequentemente, caso existam, por sub-unidades de gestão;
- o ponto de descarga de uma rede hidrográfica deve estar sobre o limite interior das massas de água costeiras;

- as representações das massas de água costeiras devem ser adjacentes entre si, e devem ser igualmente adjacentes à representação de massas de água de transição, às fronteiras nacionais, ou à representação das regiões hidrográficas;
- a delimitação das regiões hidrográficas deve sobrepor-se totalmente aos limites administrativos do país;
- as regiões hidrográficas devem conter pelo menos um rio;
- as massas de água costeiras não devem ter uma largura superior a uma milha náutica para além da linha de base costeira.

A Figura 95 exemplifica a execução de validação das regras topológicas aplicadas às classes do pacote UML relativo a hidrografia.

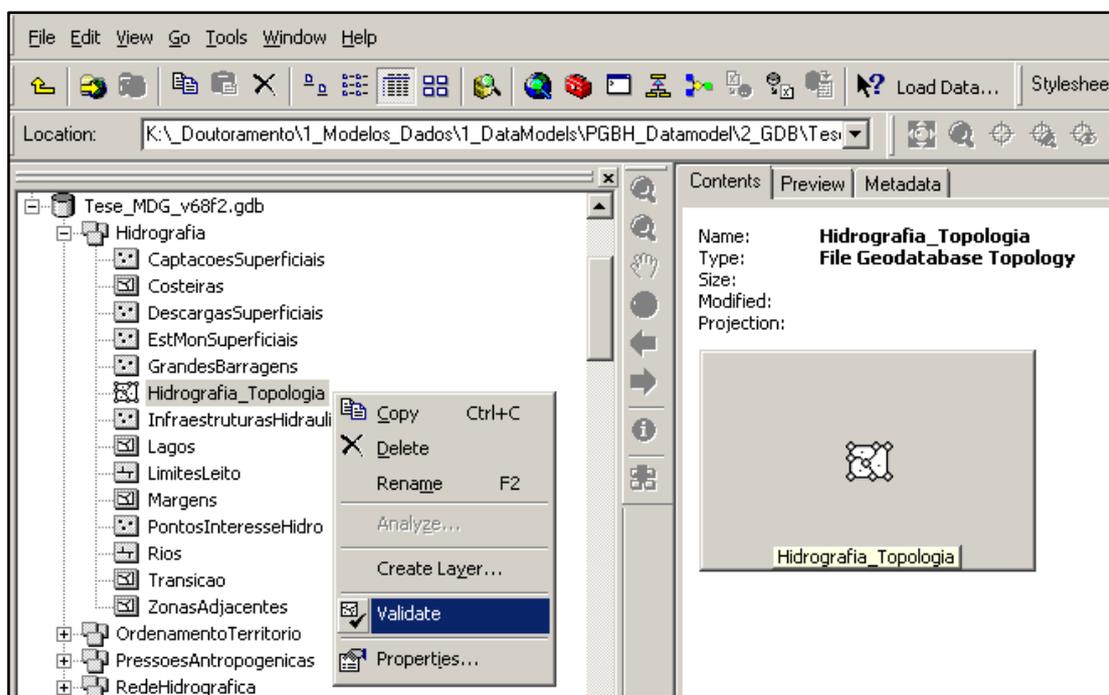


Figura 95. Exemplo de verificação da consistência topológica de dados

## 5.10 Simbologia aplicável aos tipos de entidades presentes no MDG

As cores e simbologia aplicadas à apresentação dos elementos geográficos considerados no MDG foram definidos com base nos critérios estabelecidos na legislação portuguesa, no WISE, e na directiva INSPIRE - Hidrografia.

Dado que o documento-guia do WISE (European Environment Agency, 2008), não estabelece directamente um sistema de cores e simbologia para apresentação dos tipos de entidades representados, optou-se por considerar neste aspecto as propostas da INSPIRE - Hidrografia, em

conjunto com o estabelecido legalmente sobre a simbologia a aplicar à apresentação das classes de estado das massas de água definido no Decreto-Lei 77/2006, de 30 de Março.

As cores a utilizar na simbologia foram estabelecidas com recurso aos sistemas de codificação da mistura cromática RGB, sem efeitos sombreados. Dado que alguns SIG não aplicam directamente o sistema de codificação hexadecimal de cores (de base 16), como é o caso da tecnologia utilizada para a implementação do MDG, optou-se por fazer a sua correspondência com o sistema de codificação de base 10. No Quadro 14, apresentam-se os códigos de cor no sistema de codificação de base 10 e 16, bem como a cor correspondente.

Quadro 14. Cores e respectivos códigos numéricos de base 10 e 16 de misturas cromáticas RGB

Cor	Códigos de cores	Cor	Códigos de cores
	Base 10: #204 255 255 Base 16: #CCFFFF		Base 10: #00 00 00 Base 16: #000000
	Base 10: #51 255 255 Base 16: #33FFFF		Base 10: #102 102 102 Base 16: #666666
	Base 10: #51 204 255 Base 16: #33CCFF		Base 10: #153 153 153 Base 16: #999999
	Base 10: #00 204 204 Base 16: #00CCCC		Base 10: #204 204 204 Base 16: #CCCCCC
	Base 10: #00 102 255 Base 16: #0066FF		Base 10: #255 204 204 Base 16: #FFCCCC
	Base 10: #51 51 204 Base 16: #3333CC		Base 10: #204 00 153 Base 16: #CC0099
	Base 10: #255 255 204 Base 16: #FFFFCC		Base 10: #153 153 204 Base 16: #9999CC
	Base 10: #255 255 255 Base 16: #FFFFFF		Base 10: #255 153 00 Base 16: #FF9900
	Base 10: #255 204 00 Base 16: #FFCC00		Base 10: #00 204 51 Base 16: #00CC33
			Base 10: #255 00 00 Base 16: #FF0000

O Decreto-Lei 77/2006 estabelece, no seu anexo VI sobre a monitorização das águas superficiais, nomes de cor para simbolizar as classificações de: estado ecológico, potencial ecológico, e estado químico das massas de água superficiais. De salientar que as descrições de cor e simbologia, neste diploma legal, não são suficientes para definir em rigor a sua adequada composição de cores primárias. Tal facto devesse sobretudo à omissão de detalhes técnicos como os códigos de cores (p.e. RGB de base 10 ou 16), ou ainda à disposição geométrica dos elementos de simbologia (p.e. horizontalidade e verticalidade). As cores atribuídas à simbologia da classificação do estado ecológico, no diploma legal citado, estão referidas no Quadro 15.

Quadro 15. Cores de apresentação do estado ecológico

Classificação do estado ecológico	Cores
Excelente	Azul
Bom	Verde
Razoável	Amarelo
Medíocre	Laranja
Mau	Vermelho

A descrição da simbologia de classificação do potencial ecológico estão referidas no Quadro 16.

Quadro 16. Cores de apresentação do potencial ecológico

Classificação do potencial ecológico	Massas de água artificiais	Massas de água fortemente modificadas
Bom e superior	Riscas verdes e cinzento-claras da mesma largura	Riscas verdes e cinzento-escuras da mesma largura
Razoável	Riscas amarelas e cinzento-claras da mesma largura	Riscas amarelas e cinzento-escuras da mesma largura
Medíocre	Riscas laranja e cinzento-claras da mesma largura	Riscas laranja e cinzento-escuras da mesma largura
Mau	Riscas vermelhas e cinzento-claras da mesma largura	Riscas vermelhas e cinzento-escuras da mesma largura

A representação da classificação do estado químico adopta as cores apresentadas no Quadro 17.

Quadro 17. Cores de apresentação do estado químico

Classificação do estado químico	Cores
Bom	Azul
Insuficiente	Vermelho

Apresenta-se na Figura 96 e Figura 97 excertos das representações cartográficas em que é utilizada a simbologia desenvolvida a uma escala cartográfica aproximada de 1:750.000. A Figura 96 apresenta os estados de massa de água superficiais actuais.

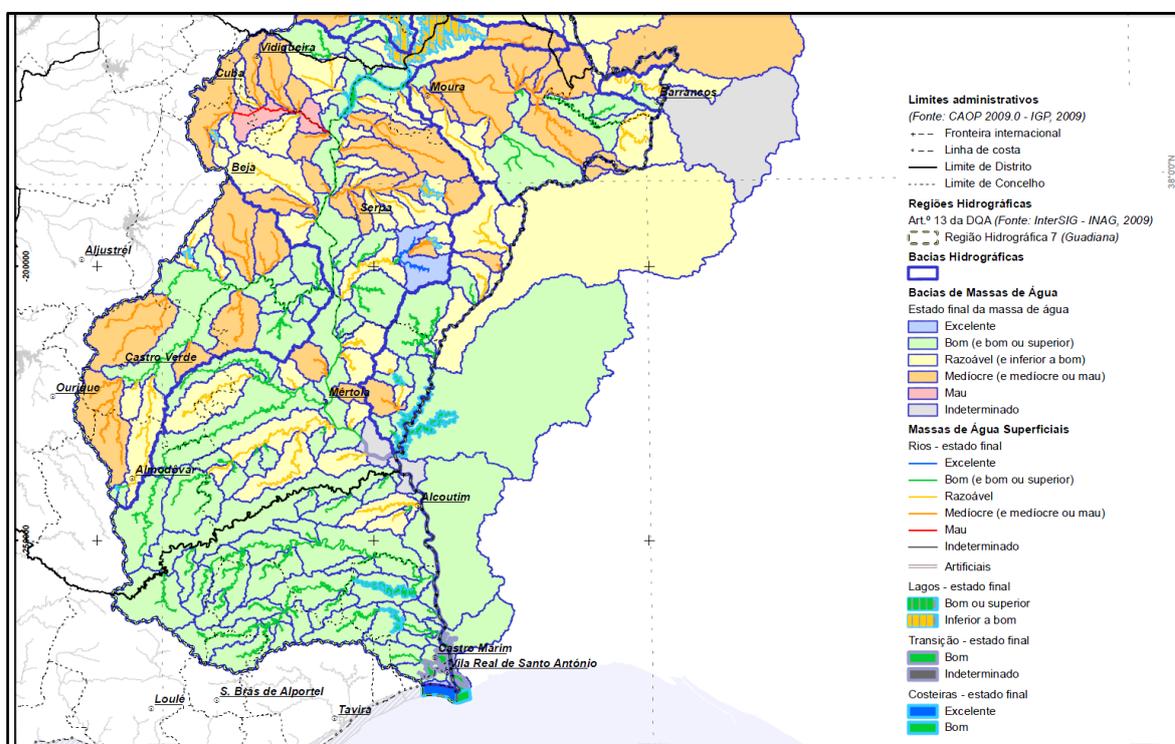


Figura 96. Representação cartográfica dos estados finais de massas de água superficiais correspondentes à região hidrográfica do rio Guadiana (RH7)

A Figura 97 apresenta as tipologias de massas de água superficiais correspondentes à região hidrográfica do rio Guadiana (RH7).

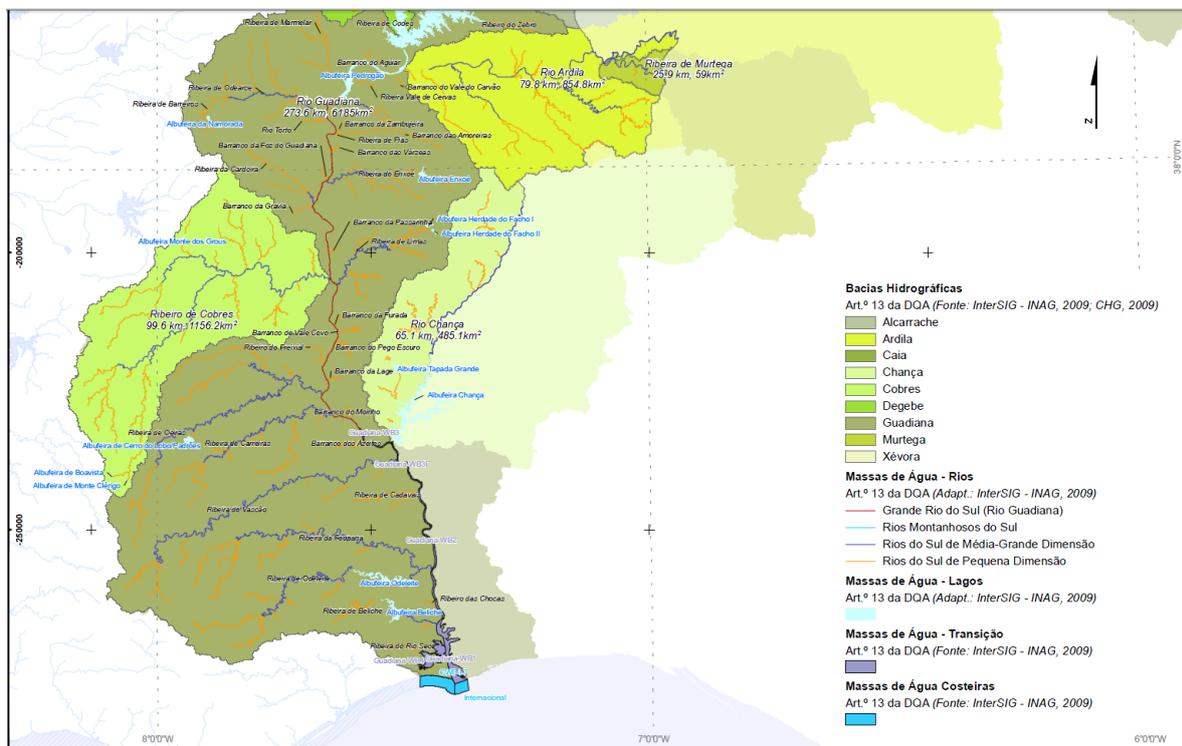


Figura 97. Representação cartográfica das tipologias de massas de água superficiais correspondentes à região hidrográfica do rio Guadiana (RH7)

Os elementos de simbologia estão definidos no formato ESRI *Style Set File* e disponíveis em anexo (CD-ROM).

### 5.11 Transformação e carregamento de dados no WISE

Uma das premissas em que se baseou o desenvolvimento do modelo de dados geográficos centrou-se nos requisitos de informação exigidos pelo sistema de informação europeu sobre recursos hídricos (WISE), para o qual os EM que implementam a DQA estão obrigados a reportar pontualmente os aspectos relativos ao planeamento e gestão de recursos hídricos das suas regiões hidrográficas.

Na secção 3.7 foram apresentados os conceitos genéricos do sistema WISE e apresentadas as razões que justificaram que o MDG fosse transformável para a estrutura de dados do WISE. Note-se que no sistema WISE a componente de dados geográficos está dissociada da componente alfanumérica da informação (a reportar através da *WISE Access Tool*). O relato de informação relativa ao processo de planeamento de regiões hidrográficas, sobretudo no que respeita aos PGRH, é suportado por conjuntos de dados geográficos no formato ESRI *Shapefiles*. A comissão europeia disponibiliza apenas os *templates* para registar as categorias de massas de água superficiais e subterrânea, sendo que os metadados respectivos são produzidos em conformidade

com o anexo B de Atkins (2009a), que congrega elementos de metadados da INSPIRE (p.e. constrangimentos de acesso) e elementos do WISE. É utilizado o editor de metadados<sup>87</sup> da INSPIRE uma vez que o WISE não dispõe ainda de editor próprio, nem do respectivo validador.

Para demonstrar a transformação dos dados entre o MDG e o WISE é utilizada a componente alfanumérica do WISE (*WISE Access Tool* v3). Consideram-se dois exemplos de comparação de registos entre o MDG e o WISE: o primeiro relativo ao registo das massas de água rios e um segundo relativo às pressões antropogénicas e impactes sobre as massas de água superficiais. A descrição dos elementos do WISE encontra-se registada nos ficheiros *XML schemas*, cuja estrutura se apresenta na Figura 98.

```

90 <xs:element name="SurfaceWaterBody" maxOccurs="unbounded">
91   <xs:complexType>
92     <xs:sequence>
93       <xs:element name="EUSurfaceWaterBodyCode" type="wfd:FeatureUniqueEUCodeType">
94       <xs:element name="SWB_MS_CD" type="wfd:FeatureUniqueCodeType">
103      <xs:element name="SWB_NAME" type="wfd:String250Type" minOccurs="0">
108      <xs:element name="EUSubUnitCode" type="wfd:FeatureUniqueEUCodeType">
113      <xs:element name="LAT" type="wfd:CoordinateType" nillable="true">
114        <xs:annotation>
115          <xs:documentation>Latitude in ETRS89 of the centroid of the water body. When linear or area
116          entities are represented as points (centroids) these should be 'geometric' centroids in the sense that the point should
117          fall inside a polygon representation or for linear features be a point on the line. Reservoirs (dammed/impounded rivers) should
118          be represented as centroids inside a polygon. Canals should be represented as centroids on a line. </xs:documentation>
119        </xs:annotation>
120      </xs:element>
121      <xs:element name="LON" type="wfd:CoordinateType" nillable="true">
122        <xs:annotation>
123          <xs:documentation>Longitude in ETRS89 of the centroid of the water body. When linear or
124          area entities are represented as points (centroids) these should be 'geometric' centroids in the sense that the point should
125          fall inside a polygon representation or for linear features be a point on the line. Reservoirs (dammed/impounded rivers)
126          should be represented as centroids inside a polygon. Canals should be represented as centroids on a line. </xs:documentation>
127        </xs:annotation>
128      </xs:element>
129      <xs:element name="CATEGORY" type="wfd:SWCategoryCode">
130      <xs:element name="Natural" type="wfd:SWNaturalCode">
134      <xs:element name="TypologyCode" type="wfd:String100Type">
139      <xs:element name="ReferenceDataSet" type="wfd:YesNoUnknownCode">
144      <xs:choice>
156      <xs:element name="Scale" type="wfd:ScaleType">
161      <xs:element name="ScaleExplanation" minOccurs="0">
166      <xs:element name="METADATA" type="wfd:String2000Type" minOccurs="0">
171      <xs:element name="URL" type="xs:anyURI" minOccurs="0">

```

Figura 98. Extracto da estrutura do ficheiro *XML schema* do WISE (SWB\_3p0.xsd) relativo às massas de água superficiais.

Esta estrutura está implementada na *WISE Access Tool* no formato *MS Access*, tal como ilustra a Figura 99. O processo de transformação testado baseou-se numa ferramenta de extracção, transformação e carregamento (ETL) tal como descrito por Caserta (2004).

<sup>87</sup> <http://www.inspire-geoportal.eu/index.cfm/pageid/342>

Field Name	Data Type	Description
EUSubUnitCode*	Text	Link to table RBD_SUCA_Sub_Unit - see EUSubUnitCode used in that table (Unique EU code for the Sub Unit. If the RBD is not divided into Sub-units, include the RBD code)
EUSurfaceWaterBodyCode*	Text	Unique EU code for the Water Body. Add the two-letter ISO Country code followed by the Member State unique id up to a maximum of 42 characters
SWB_MS_CD*	Text	Unique Code for the Water Body within the MS
SWB_NAME	Text	Name of Water Body
LAT*	Text	Lat in ETRS89 of the centroid of the wb. Linear/area entities represented as points (centroids) should be 'geometric' centroids - the point should fall in the Water Body
LON*	Text	Lon in ETRS89 of the centroid of the wb. Linear/area entities represented as points (centroids) should be 'geometric' centroids - the point should fall in the Water Body
CATEGORY*	Text	Category of Water Body: River, Lake, Transitional water or Coastal water. A reservoir formed by damming a river would be reported as a river water body
Natural*	Text	Indicate whether or not the Water Body is Natural, Artificial (AWB), Heavily Modified (HMWB) OR Unknown. NOTE: a Water Body CAN'T be both HMWB and Artificial
TypologyCode*	Text	Characterisation Type of the Water Body. It should be one of the codes given in TypologyCode (TYPE_CODE) in table SWMET_Typology - based on WFD
ReferenceDataSet*	Text	Please indicate Yes/No/Unknown whether or not this WB has been incorporated into the WISE Reference GIS dataset. The reference data set will be the WISE Reference GIS dataset
AREA	Text	If the Water Body category is lake, transitional or coastal water, indicate the total area in km2 of the Water Body
LENGTH	Text	If the Water Body is a river, indicate the total length in km of the Water Body
Scale*	Text	Reference map scale at which the area or length of the Water Body was calculated. Express as 1:nnnnnn e.g. 1:50000. Provide brief explanation if necessary
ScaleExplanation	Text	CONDITIONAL. Provide brief explanation of the scale used if necessary
PROT_AREA_ASSOC*	Text	Is the Water Body contained within a Protected Area or overlaps a Protected Area or is it dynamically linked to any Protected Area(s)? Answer Y, N or U
METADATA	Memo	Hyperlink or reference to associated metadata statement or file for the Water Body (less than 2000 characters).
URL	Text	URL for integration of your own internet-based information

Figura 99. Estrutura e descrição da tabela SWB\_SurfaceWaterBody da WISE Access Tool.

A Figura 100 esquematiza as principais representações geográficas de suporte ao WISE.

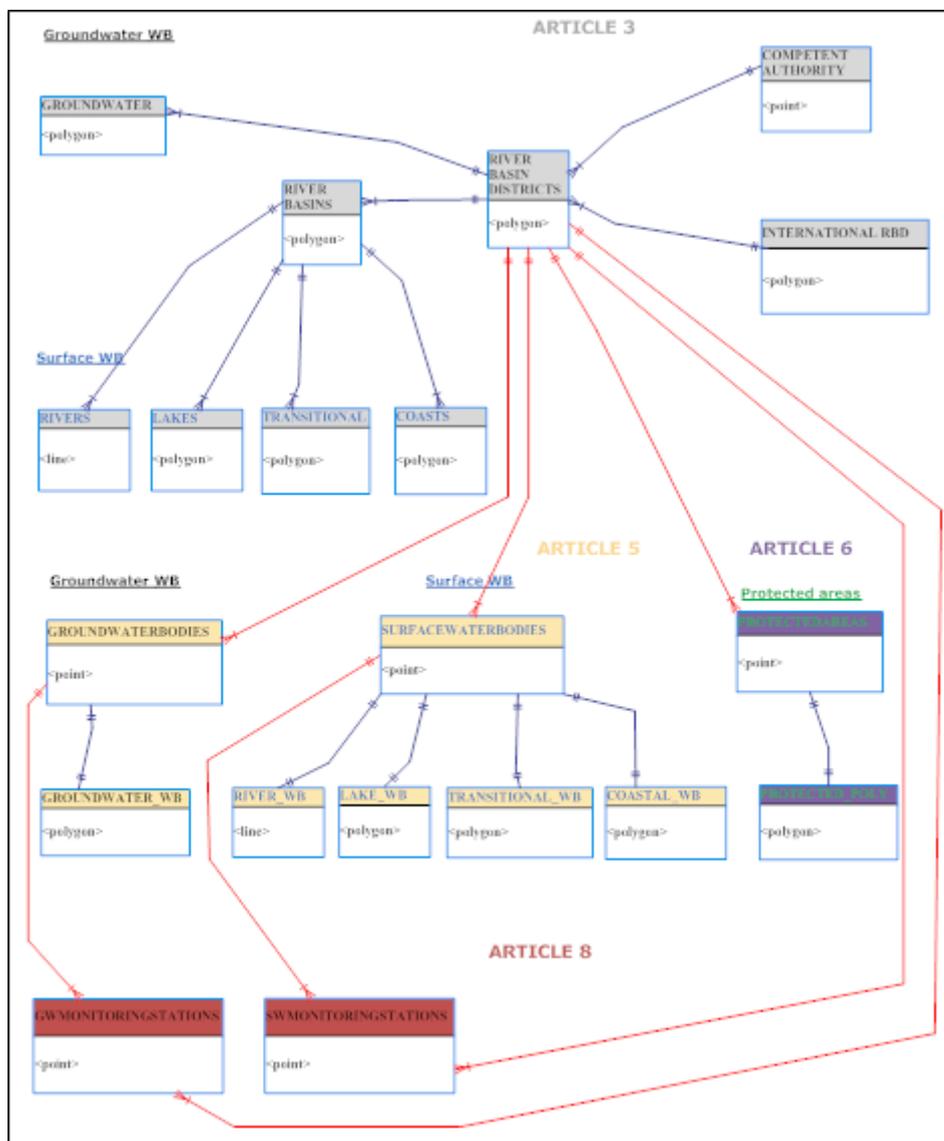


Figura 100. Representações geográficas dos principais elementos do WISE. Fonte: *European Environmental Agency* (2008)

No caso ilustrado na Figura 101 recorreu-se à ferramenta de ETL espacial FME 2011<sup>88</sup> para demonstrar a migração de dados a partir do CDG relativo à classe do MDG *Rios* para a tabela alfanumérica *SWB\_SurfaceWaterBody* da *WISE Access Tool*. O diagrama apresentado na figura tem como origem a classe geográfica *Rios*, que não possui coordenadas geográficas registadas explicitamente na tabela de atributos e escreve os atributos respectivos na tabela alfanumérica de destino *SWB\_SurfaceWaterBody*. Para executar esta transformação foi utilizado um extractor e conversor de coordenadas geográficas que tem como função calcular os centróides geográficos de cada conjunto de segmentos que representam a massa de água e transformá-los em coordenadas geodésicas decimais latitude/longitude no sistema ETRS89.

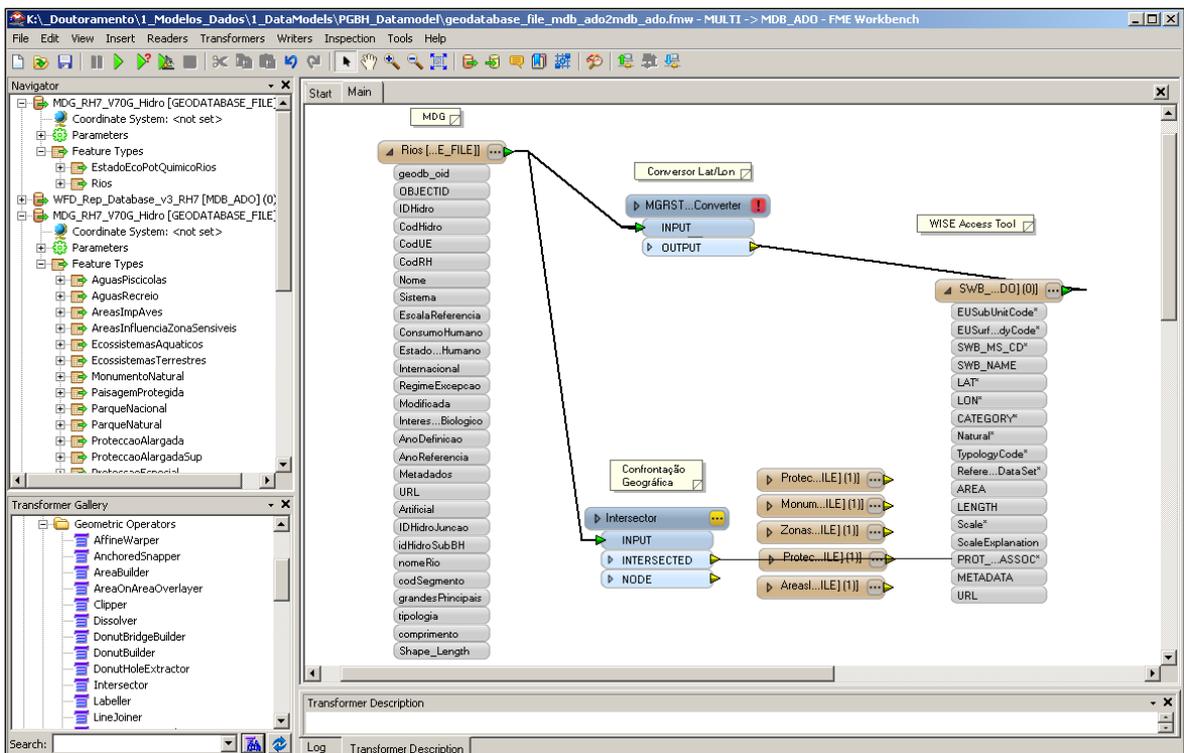


Figura 101. Exemplo de migração de dados entre a base de dados geográficos (MDG) e a *WISE Access Tool*

Os valores dos restantes atributos são migrados directamente entre a base de dados geográficos (MDG, à esquerda) e a *WISE Access Tool* (à direita) ou transformados com a seguinte relação:

- CodHidro           => SWB\_MS\_CD;
- Nome               => SWB\_Name;
- "RW"               => CATEGORY;
- "-7777"           => AREA;
- Comprimento       => LENGTH;
- "1:25000"         => Scale;
- "Null"             => ScaleExplanation;
- "Null"             => METADATA;
- "Null"             => URL.

<sup>88</sup> Feature Manipulation Engine ([www.safe.com](http://www.safe.com))

O atributo WISE *PROT\_AREA\_ASSOC* necessita de uma análise espacial de confrontação com áreas protegidas da rede nacional de áreas protegidas (RNAP) e com as zonas protegidas definidas no âmbito da Lei da água, para poder registar os valores compatíveis com a estrutura do WISE (Y:yes, N:no, U:unknown ou NA:not applicable).

SWB_NAME	LAT	LON	CATEGORY	Natural	TypologyCod	AREA	LENGTH	Scale	PROT_AREA_ASSOC
Ribeira de Feceas	41,82208	-7,40265	RW	Natural	R_N1P	-7777	5,8686246	1:25000	N
Ribeira de Carrazedo	41,80218	-6,55513	RW	Natural	R_N1P	-7777	3,1313827	1:25000	Y
Rio Mousse	41,81845	-7,23937	RW	Natural	R_N1P	-7777	14,8773787	1:25000	Y
Ribeira da Amicosa	41,79129	-6,9962	RW	Natural	R_N1P	-7777	4,8102294	1:25000	Y
Ribeiro de Parada	41,77574	-7,21462	RW	Natural	R_N1P	-7777	5,3009143	1:25000	N
Ribeira de Cibrão	41,81693	-7,03563	RW	Natural	R_N1P	-7777	14,6835059	1:25000	Y
Ribeira do Porto	41,76838	-6,66008	RW	Natural	R_N1P	-7777	5,0973605	1:25000	Y
Ribeira de Arcosso	41,80521	-7,34152	RW	Natural	R_N1P	-7777	13,1099768	1:25000	N
Rio Ferveça	41,79068	-6,73089	RW	Natural	R_N1P	-7777	23,1501045	1:25000	N
Ribeira da Torre	41,80677	-7,47568	RW	Natural	R_N1P	-7777	13,489267	1:25000	N
Ribeira do Castro	41,75057	-7,04491	RW	Natural	R_N1P	-7777	6,4373094	1:25000	N
Ribeira da Caravela	41,77785	-6,58876	RW	Natural	R_N1P	-7777	13,4826718	1:25000	Y
Rio Sabor	41,77883	-6,67792	RW	Natural	R_N1G	-7777	37,7128997	1:25000	Y
Ribeira de Penecal	41,73612	-6,76662	RW	Natural	R_N1P	-7777	13,5999262	1:25000	N
Ribeira da Ervedosa	41,71805	-7,05752	RW	Natural	R_N1P	-7777	8,4808145	1:25000	N
Ribeiro de Sanjurge	41,75003	-7,48007	RW	Natural	R_N1P	-7777	3,6402541	1:25000	N
Ribeira do Caneiro	41,71905	-7,41844	RW	Natural	R_N1P	-7777	11,5874904	1:25000	N
Ribeiro do Regueiral	41,74565	-7,10634	RW	Natural	R_N1P	-7777	4,3006095	1:25000	N
Ribeiro de Samaiões	41,71666	-7,47326	RW	Natural	R_N1P	-7777	2,3838835	1:25000	N
Ribeiro de Bouçoães	41,72449	-7,20281	RW	Natural	R_N1P	-7777	2,0692388	1:25000	N
Ribeira de Penecal	41,67931	-6,81799	RW	Natural	R_N1P	-7777	12,8601038	1:25000	Y
Rio Tuela	41,85007	-6,87536	RW	Natural	R_N1G	-7777	67,8637083	1:25000	Y
Ribeira de São Cibrão	41,70737	-7,00122	RW	Natural	R_N1P	-7777	28,1209941	1:25000	Y
Ribeiro de Fornos	41,69268	-7,11423	RW	Natural	R_N1P	-7777	2,347792	1:25000	N
Rio Calvo	41,78757	-7,27559	RW	Natural	R_N1P	-7777	18,9311774	1:25000	N
Rio Beça	41,71457	-7,70852	RW	Natural	R_N1P	-7777	24,8264493	1:25000	N
Rio Terva	41,74581	-7,60343	RW	Natural	R_N1P	-7777	22,630004	1:25000	N

Figura 102. Resultado da migração de dados entre a base de dados geográficos e a WISE Access Tool (SWB\_SurfaceWaterBody)

O segundo exemplo para demonstrar a transformação de dados entre o MDG e o WISE é relativo às pressões antropogénicas e impactes sobre as massas de água superficiais. No WISE as pressões antropogénicas e impactes podem ser registados para cada massa de água individualmente através das tabelas representadas na Figura 103.

SWB_Pressures		
Atributos	Tipo de dados	Descrição do atributo
EUSurfaceWaterBodyCode	Text (42)	Link to table SWB_SurfaceWaterBody - see EUSurfaceWaterBodyCode used in that table (Unique EU code for the Water Body. Add the two-letter ISO Country code followed by the Member State unique id up to a maximum of 42 characters)
SignificantPressureTypes	Text (255)	Indicate the significant pressure type(s) from the enumeration list if known

SWB_Impacts		
Atributos	Tipo de dados	Descrição do atributo
EUSurfaceWaterBodyCode	Text (42)	Link to table SWB_SurfaceWaterBody - see EUSurfaceWaterBodyCode used in that table (Unique EU code for the Water Body. Add the two-letter ISO Country code followed by the Member State unique id up to a maximum of 42 characters)
SignificantImpactTypes	Text (100)	Indicate the Impact Type(s) from the enumeration list if known.

Figura 103. Estrutura das tabelas WISE relativas a pressões e impactes sobre massas de água superficiais

Como as tabelas sugerem, na WISE Access Tool registam-se os tipos de pressões e impactes que influenciam directamente cada massa de água superficial, por ocorrerem nas respectivas bacias

hidrográficas. Os tipos de pressão estão agregados de acordo com a seguinte lista (WISE, *WFDCCommon.xsd: SWPressureAggregatedType*):

1. *Point source;*
2. *Diffuse source;*
3. *Water abstraction;*
4. *Water flow regulations and morphological alterations of surface water;*
5. *River management;*
6. *Transitional and coastal water management;*
7. *Other morphological alterations;*
8. *Other Pressures.*

Os tipos de impactes sobre as massas de água superficiais estão agregados de acordo com a seguinte lista (WISE, *WFDCCommon.xsd: SWImpactType*):

1. *Nutrient enrichment (at risk of becoming eutrophic) (unless information already provided under UWWTD);*
2. *Organic enrichment;*
3. *Contamination by priority substances or other specific pollutants;*
4. *Contaminated sediments;*
5. *Acidification;*
6. *Saline intrusion;*
7. *Elevated temperatures;*
8. *Altered habitats as a result of hydromorphological alterations.*

Note-se que no âmbito do relato ao WISE não se prevê que sejam reveladas as localizações das pressões e respectivos impactes, mas sim apenas quais as mais significativas para cada massa de água. Por comparação a este método o MDG prevê a representação geográfica de cada um dos grupos de pressões antropogénicas (quer tópicas, quer difusas) e o registo das cargas poluentes anuais para cada parâmetro e para cada uma das pressões registadas. A Figura 104 ilustra o diagrama de classes relativo ao registo das cargas poluentes associadas a uma bacia de massa de água (sub-bacia hidrográfica).

Este método permite aferir a carga poluente anual expressa pelos parâmetros quantificados e o seu potencial impacte no sistema hidrológico. O nível de significância de cada pressão será calculado em função da respectiva carga poluente, da sua localização e das massas de água ou zonas protegidas que possa influenciar.

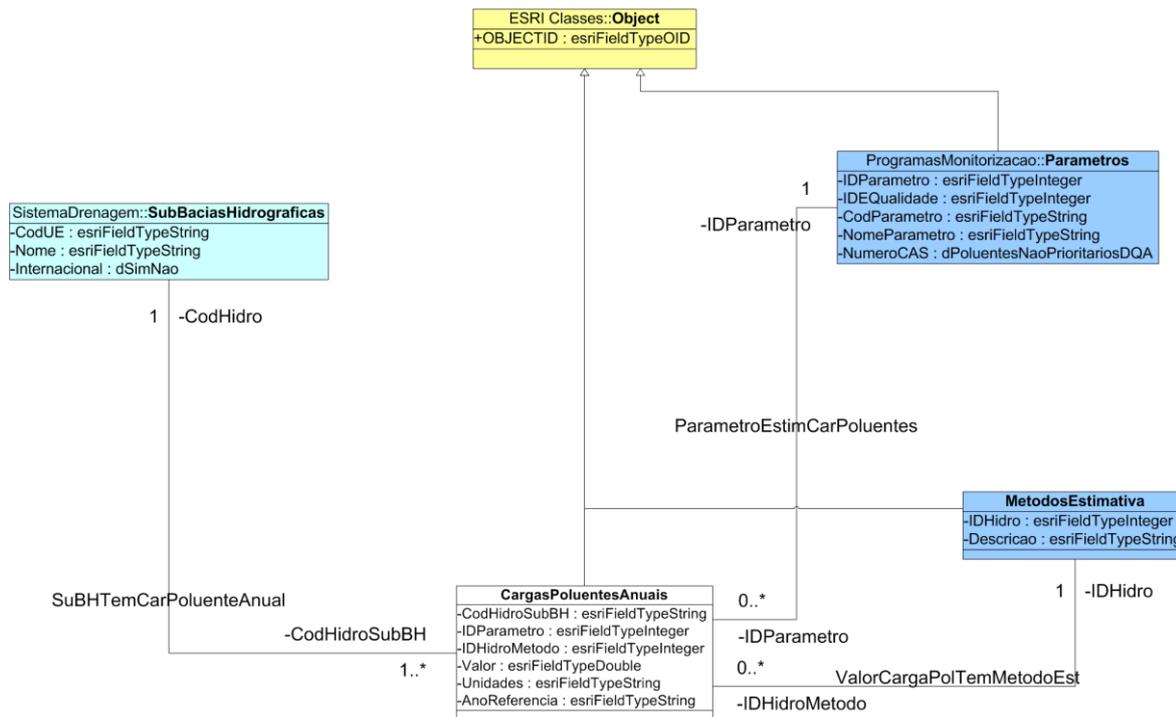


Figura 104. Diagrama de classes relativo ao registo das cargas poluentes das pressões antropogénicas

Os dois exemplos de transformação descritos salientam as diferenças conceptuais e lógicas entre o MDG e o WISE *Access Tool*. Estes e outros exemplos evidenciam que os modelos conceptual e lógico do MDG não cumprem apenas o objectivo de relatar a implementação dos critérios da DQA através do WISE mas também os os objectivos de: traduzir os diplomas legais nacionais e europeus aplicáveis; suporte à produção cartográfica; suporte aos principais elementos do PGRH; e de análise espacial e modelação hidrológica e hidráulica.

## 6 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho desenvolvido e está estruturado de acordo com os objectivos iniciais estabelecidos. Retomam-se esses objectivos para descrever como todos foram alcançados e expor os desenvolvimentos considerados inovadores e os contributos mais relevantes.

A metodologia de desenvolvimento do modelo de dados geográficos foi implementada para cumprir um conjunto de requisitos, no âmbito dos quais se podem identificar quatro casos de uso: i) produção cartográfica; ii) análise espacial e modelação hidrológica e hidráulica; iii) relato ao sistema de informação europeu sobre recursos hídricos – WISE; iv) suporte aos produtos de dados resultantes da elaboração dos PGRH. O trabalho apresentado foi desenvolvido em função dos seguintes objectivos:

1. estudar e aplicar as normas ISO e especificações INSPIRE na declaração de modelos de dados geográficos sob o princípio da modelação centrada em objectos. Foram considerados os princípios expostos nas normas ISO 19103 (*conceptual schema language*), ISO 19109 (*rules for application schema*), ISO 19110 (*methodology for feature cataloguing*), bem como as especificações técnicas de enquadramento para a especificação de dados INSPIRE D2.3 (*scope and definition of themes*), D 2.5 (*generic conceptual model*), D 2.6 (*methodology for the development of data specifications*), D 2.7 (*guidelines for the encoding of spatial data*), D 2.8.1.8 (*data specification on hydrography*);
2. desenvolver e implementar as componentes do modelo de dados geográficos resultantes da tradução da legislação europeia e nacional aplicável ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais; foram interpretados e traduzidos para um esquema conceptual e modelo lógico, e posteriormente para um modelo físico, as classes de objectos identificáveis nos diplomas legais e documentos técnicos relativos à implementação da DQA;
3. capacitar o modelo de dados para responder às exigências de relato do sistema de informação europeu sobre águas – WISE. Neste âmbito, foram considerados os documentos-guia para a implementação da DQA, nomeadamente os documentos n.º 9 (*implementing the geographic information system elements of the water framework directive*); n.º 21 (*guidance for reporting under the water framework directive*); e n.º 22 (*updated guidance on implementing the geographical information system elements of the EU water policy*). Além destes foram ainda considerados os diagramas do modelo de dados do WISE (Maidens, 2010), bem como a aplicação *WISE Access Tool* (v3) e os esquemas XML para validação da informação a reportar no âmbito do WISE ([url: http://icm.eionet.europa.eu/schemas/dir200060ec/resources](http://icm.eionet.europa.eu/schemas/dir200060ec/resources));

4. suportar o registo da informação resultante das tarefas de planeamento do PGRH e respectiva produção cartográfica por meio de definição da simbologia a utilizar na apresentação de objectos geográficos. As tarefas de planeamento previstas no âmbito da elaboração dos PGRH estão divididas em sete componentes:
  - a) enquadramento e aspectos gerais;
  - b) caracterização e diagnóstico da região hidrográfica;
  - c) análise económica das utilizações da água;
  - d) cenários prospectivos de desenvolvimento económico;
  - e) objectivos ambientais;
  - f) programas de medidas;
  - g) sistema de promoção, de acompanhamento, de controlo e de avaliação da execução do PGRH.

Com vista à integração dos produtos das tarefas de planeamento no processo de gestão, foi objectivo da tese prever suporte a estes elementos no MDG, excepção feita aos elementos da parte 1) e parcialmente aos elementos da parte 7) do PGRH. A viabilização da produção cartográfica prevista no âmbito dos PGRH pelo recurso à apresentação dos conceitos declarados no MDG foi uma forma de o conseguir. Inerente à produção cartográfica esteve a definição dos elementos de simbologia, cujo desenvolvimento foi articulado com a especificação INSPIRE - Hidrografia (D2.8.1.8) e em linha com os diplomas legais, nomeadamente o Decreto-Lei 77/2006, que determina nos seus anexos a representação simbólica a utilizar;

5. implementar o MDG e explorar as capacidades funcionais para análise espacial do modelo de dados através da sua aplicação a uma região hidrográfica. Definido o universo de discurso, o modelo conceptual, e o modelo lógico do MDG, considerou-se relevante proceder à sua implementação sobre um SGBD com o objectivo de avaliar o seu comportamento funcional, quer no que respeita ao carregamento de dados, quer no que respeita à análise espacial para hidrologia e hidráulica.

Expõe-se nos parágrafos seguintes como cada um dos objectivos foi atingido.

Para cumprir o **primeiro objectivo** foram consideradas as normas ISO e as especificações INSPIRE referidas, servindo estas de suporte à declaração do modelo de dados geográficos segundo os princípios expostos nos documentos oficiais. O estudo e adopção das normas ISO determinaram a abordagem metodológica geral do trabalho desenvolvido, que determinou a declaração do modelo de dados geográficos em quatro fases de desenvolvimento: universos de discurso, modelo conceptual, modelo lógico e modelo físico. Estas normas determinaram a

adopção dos conceitos da linguagem do modelo conceptual (ISO 19103), nomeadamente os de: esquema conceptual, tipo de dados, domínio, entidade, ou associações de entidades. As regras relativas ao desenvolvimento do modelo lógico (esquema de aplicação), determinadas pela norma ISO 19109, impuseram a criação e documentação do modelo lógico, na qual se incluem os princípios de definição de classes de objectos. A metodologia para a criação do catálogo de entidades obedeceu à norma ISO 19110, nomeadamente no que respeita ao procedimento para a classificação, organização e descrição dos elementos do modelo de dados num catálogo de entidades.

O estudo das especificações INSPIRE, apesar de baseadas nas normas ISO da série 19100, contribuíram para avaliar os procedimentos sugeridos pela Comissão Europeia respeitantes à especificação de informação geográfica e para influenciar o desenvolvimento do MDG com vista a facilitar uma futura transformação de dados conforme a especificação do tema “hidrografia”. As especificações de dados INSPIRE não são de utilização obrigatória pelos Estados-Membros, no entanto, foram consideradas na perspectiva de uma transformação com vista à partilha de dados através da publicação de serviços de dados geográficos a integrar na infra-estrutura europeia de informação geográfica (INSPIRE D2.5, 2010a).

Com o estudo das especificações INSPIRE de enquadramento ao desenvolvimento de especificações de dados (*data specification development framework*), e mais concretamente da especificação de dados do tema hidrografia, procurou-se conhecer se a transformação entre o MDG desenvolvido e os elementos presentes nesta especificação era exequível e se sim, qual a “distância conceptual” que apresentavam. Verificou-se que, conceptualmente, o MDG desenvolvido é substancialmente distinto da especificação de dados INSPIRE - Hidrografia, sobretudo devido ao facto da especificação INSPIRE incorporar no seu modelo lógico referente ao relato, apenas os conceitos DQA relativos às categorias de massas de água: rios, lagos, transição e costeiras. Estão assim excluídos desta especificação um conjunto significativo de conceitos DQA, alguns dos quais exigidos pelo WISE, *p.e.* região hidrográfica, estado de massas de água, programa de medidas, programa de monitorização; ou aqueles exigidos pela legislação portuguesa aplicável, como por exemplo o conceito de domínio hídrico, zona de infiltração máxima, ou perímetro de protecção a captações.

O **segundo objectivo** do trabalho estava associado à tradução dos diplomas legais aplicáveis ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais e à identificação e caracterização dos objectos tangíveis no mundo real sujeitos aos paradigmas preconizados na DQA e respectivos diplomas legais nacionais. Para cumprir este objectivo executou-se um levantamento de requisitos que incluiu um estudo exaustivo dos diplomas legais aplicáveis, no âmbito do qual foram considerados decretos-lei, decretos regulamentares, portarias e despachos ministeriais do direito interno português, bem como o caderno de encargos para a elaboração dos PGRH ao qual se aplicou a prova de conceito funcional do MDG desenvolvido. Além dos diplomas legais nacionais

foram estudadas as respectivas directivas europeias aplicáveis e os documentos-guia para a implementação da DQA.

Seguindo a metodologia expressa nas normas ISO, corroborada pelas especificações INSPIRE citadas, estabeleceu-se o universo de discurso e o respectivo modelo conceptual, a partir dos quais se definiram as classes de objectos aplicáveis aos fenómenos do mundo real identificados. Em casos pontuais em que as definições dos conceitos não existiam ou não eram claras nos diplomas legais ou no caderno de encargos para a elaboração do PGRH, recorreu-se: ao catálogo de entidades dos esquemas de aplicação INSPIRE (*feature catalogue 'INSPIRE application schemas'*); ao dicionário internacional de hidrologia<sup>89</sup>; ao *feature data dictionary* (DFDD); ao dicionário internacional de hidrografia da organização internacional de hidrografia (IHO); ou a artigos científicos que sugerem e fundamentam a definição tendencialmente aceite pela comunidade científica.

A identificação da fonte de descrição dos conceitos apresentados no modelo conceptual foi transposta para o dicionário de dados e posteriormente incluídas no catálogo de entidades. Foram utilizadas as marcas de valor *description* das classes, atributos, associações e listas codificadas dos diagramas de classes UML para que pudessem posteriormente ser registadas ao nível dos descritores de metadados conforme a norma ISO 19139. As definições de conceitos representadas por classes UML e as associações entre classes, quer geográficas, quer alfanuméricas, foram registadas ao nível do descritor *Identification/ General/ Description/ Abstract*. As definições das propriedades das classes (atributos) foram registadas ao nível do descritor *Entity attribute/ Detailed description/ Attribute/ General/ Definition*. Os domínios de dados foram, na sua maioria, registados no descritor *Entity attribute/ Detailed description/ Attribute/ Attribute domain values/ Enumerated domain/ Value definition*.

A partir do modelo conceptual foi desenvolvido o modelo lógico com recurso a diagramas de classes UML utilizando o perfil *ArclInfo UML Model*. Este perfil UML permitiu uma flexibilidade assinalável entre o modelo lógico e o modelo físico de dados, possibilitando testar a implementação de versões intermédias do modelo físico ao longo do processo de desenvolvimento e respectivos testes. Constituíram elementos do modelo lógico: as classes (geográficas e alfanuméricas); associações (simples e compostas); e as listas codificadas de valores (domínios de dados). Após a implementação do modelo físico foram declarados no SGBD os elementos de: sistema de referência geográfica e regras topológicas. Os elementos de simbologia identificados nos diplomas legais aplicáveis foram declarados num *ESRI Style Set File* com o objectivo de serem utilizados nas representações cartográficas dos respectivos conjuntos de dados geográficos.

---

<sup>89</sup> <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDPT.HTM>

O **terceiro objectivo** estava associado à capacidade de relato de elementos para o sistema de informação europeu sobre águas - WISE. O MDG a desenvolver devia possibilitar responder às exigências de relato impostas pelo WISE conforme expresso nos esquemas XML disponibilizados pela Comissão Europeia, versando necessariamente os produtos de informação dos PGRH, a que corresponde o artigo 13.º da DQA.

A análise dos esquemas XML e da base de dados WISE (*WISE Access Tool*) revelou a inexistência ou disparidade de certos conceitos, quando comparados com os conceitos presentes nos diplomas legais do direito interno português analisados. Dado que a tradução dos diplomas legais nacionais, publicados após a Lei da Água (LA), resultaram sobretudo da transposição das directivas europeias, os elementos a reportar estavam já em grande medida considerados. De um modo geral, os diplomas legais nacionais prévios e posteriores à LA impuseram componentes do modelo lógico significativamente mais complexos e detalhados (de mais baixo nível) quando comparados com a estrutura da base de dados WISE. Para cumprir o objectivo de relato ao WISE o modelo conceptual, e posteriormente o modelo lógico do MDG, incorporaram estruturas que possibilitam executar processos de extracção, transformação e carregamento (Caserta, 2004), quer pela execução de operações aritméticas, como *p.e.* calcular o número de zonas protegidas na região hidrográfica ou a percentagem de massas de água com estado abaixo de bom, quer pela transposição directa dos dados para a estrutura prevista, de que são exemplo a descrição das metodologias para aferição do estado das massas de água (diagrama de classes UML *MetodosSuperficiais*).

Com a definição do modelo conceptual de dados baseado nos requisitos técnicos e funcionais evidenciaram-se as diferenças conceptuais, quer do WISE (descritas nos esquemas xml da *WISE Access tool*), quer da especificação de dados do tema hidrografia da directiva INSPIRE. Ficou evidente que quer o dicionário de dados do WISE, quer o dicionário de dados dos temas INSPIRE, não suportavam todos os conceitos elegíveis com base no universo de discurso definido de forma a responder aos casos de uso definidos para o MDG. Justificava-se assim que o dicionário de dados unificasse conceitos e definições que permitissem: i) responder ao WISE; ii) aplicar as especificações de informação geográfica dos temas INSPIRE correspondentes; e que iii) contemplasse um universo de discurso integrador de âmbito regional relativo ao planeamento e gestão de recursos hídricos que estivesse no âmbito da aplicação da DQA.

Note-se que a *WISE Access Tool* não foi concebida para registar objectos geográficos, mas sim as coordenadas geográficas dos centróides geométricos desses objectos. A informação geográfica vectorial é solicitada aos EM através de *ESRI shapefiles*<sup>90</sup> com estruturas de tabelas de atributos próprias relativos às categorias de massas de água e zonas protegidas. Este facto obriga só por si

---

<sup>90</sup> <http://icm.eionet.europa.eu/schemas/dir200060ec/resources>

a estabelecer associações que num ambiente SIG seriam desnecessárias, uma vez que neste ambiente é possível recorrer a associações espaciais para relacionar objectos georreferenciados.

O **quarto objectivo** foi dedicado a desenvolver o suporte à informação resultante das tarefas de elaboração dos PGRH. Foram analisados todos os documentos que estabeleciam os requisitos para a elaboração dos PGRH em Portugal continental, à medida que eram disponibilizados. O primeiro documento a ser analisado foi o documento orientador para a elaboração dos PGRH da autoria do autoridade nacional da água (INAG, 2009), no qual se previam planos com onze partes. Posteriormente a este documento, cada ARH elaborou, no âmbito do concurso público internacional para a elaboração dos PGRH, os respectivos cadernos de encargos, nos quais se previam os PGRH com sete partes. Nestes documentos, foram identificadas as necessidades de suporte à informação a produzir no âmbito da elaboração dos PGRH.

Por exclusão das partes 1 e 7 para o desenvolvimento do suporte de informação no MDG, foram consideradas as partes 2 a 6. Na parte 2, referente à caracterização e diagnóstico da região hidrográfica, foi contemplada a:

- caracterização das massas de água superficiais, zonas protegidas, áreas classificadas (rede nacional de áreas protegidas) e zonas protegidas no âmbito da LA;
- caracterização das pressões antropogénicas significativas (qualitativas pontuais, qualitativas difusas, quantitativas, morfológicas e hidromorfológicas, e biológicas);
- concepção das redes de monitorização e avaliação do estado de massas de água;
- avaliação do cumprimento das disposições legais em vigor relativas à água, solos e actividades com efeitos directos e indirectos mensuráveis nos recursos hídricos.

As partes 3 e 4 do caderno de encargos preveem, respectivamente, a análise económica e a avaliação das utilizações da água com base em cenários prospectivos de evolução económica. Consideraram-se no desenvolvimento do MDG, os elementos necessários para uma transferência de dados para o WISE, descrito neste aspecto específico pelo esquema XML relativo aos programas de medidas (*RBMP\_POM.xsd*).

Na parte 5, relativa aos objectivos ambientais, consideraram-se os aspectos referidos nos art. 45.º a 48.º da LA, que dizem respeito aos requisitos, critérios, e excepções aplicáveis às massas de água superficiais e subterrâneas, e às zonas protegidas, a definir no PGRH. Para além dos objectivos ambientais, consideraram-se também os objectivos específicos (art. 45.º a 49.º da LA) para as massas de água artificiais e fortemente modificadas.

O MDG tem em conta, para cada tipologia de massas de água superficiais, a classificação de estado (ecológico ou potencial ecológico, e químico), incluindo, a identificação dos casos de excepções em que tenha havido recurso aos n.º 4, 5, 6, e 7 do art.º 4.º da LA (prorrogações de

prazo ou derrogações dos objectivos ambientais), e às informações relacionadas exigidas nos termos desse artigo. Consequentemente, como resultado directo desta componente do PGRH, cada massa de água é classificada, no máximo, uma vez por ano, sendo o histórico subsequente registado ao nível do ano em que essa classificação de estado é revista. Por existir a possibilidade das massas de água ou zonas protegidas não cumprirem os objectivos ambientais estabelecidos, quer por causas naturais, antropogénicas, de exequibilidade técnica ou custo desproporcionado, foi contemplado no MDG uma análise de risco de cumprimento dos objectivos ambientais (European Commission, 2003b). Esta análise baseia-se na existência de prorrogações de prazo ou derrogações dos objectivos ambientais suportados pela identificação da causa, ou causas, que as justificam, e quando aplicável, suportada por um programa de medidas que viabilize a sua recuperação.

A parte 6 dos PGRH contempla a definição do programa de medidas. Os programas de medidas consideram acções e projectos que se dividem em medidas de base, medidas suplementares, medidas adicionais e outras medidas, aplicáveis a objectos geográficos específicos: região hidrográfica, massa de água, zona protegida, etc.

Estas medidas são funcionalmente adaptadas às características da bacia hidrográfica, e ao impacte da actividade humana no estado das massas de água ou zona protegida, sendo as respectivas prioridades de implementação justificadas de acordo com o critério custo-eficácia e o critério custo-benefício. Conceptualmente, os programas de medidas relacionam-se, num primeiro nível, com as massas de água ou zonas protegidas a que se aplicam; num segundo nível, com as pressões antropogénicas que afectam essas mesmas massas de água ou zonas protegidas; e, num terceiro nível, com uma avaliação custo-eficácia e custo-benefício, com a respectiva prioridade de implementação.

Os programas de medidas aplicam-se a uma massa de água (ou conjunto de massas de água) e zonas protegidas que sofrem pressões que podem ameaçar o alcance, ou manutenção, do seu bom estado. O estado das massas de água é monitorizado em locais de amostragem ou estações de monitorização, possibilitando assim analisar tendências e antecipar ajustes nas medidas previstas. Mediante a análise económica da utilização da água, estabelece-se o carácter (nomeadamente geográfico, financeiro, e ambiental) das medidas a aplicar. Os programas de medidas podem envolver certos agentes económicos com responsabilidade ou co-responsabilidades na sua implementação, pelo que o MDG previu registar as organizações com responsabilidade na sua implementação.

A parte 7 dos PGRH contempla o sistema de promoção, de acompanhamento, de controlo e de avaliação. Os PGRH prevêem uma estrutura de coordenação e acompanhamento do Plano, e um sistema organizacional para garantir a concretização, a coerência, e a consistência da aplicação dos programas de medidas. O sistema organizacional incluirá indicadores de avaliação que permitam acompanhar:

- i. a execução das medidas;
- ii. a evolução do estado das massas de água;
- iii. as pressões que afectam as massas de água e zonas protegidas.

Assim, propõe-se que a especificação de informação geográfica do MDG possa ser interpretada como uma componente do sistema de promoção, controlo e avaliação dos PGRH, sendo que poderá fazer uso de toda a informação que caracterize o sistema definido no universo de discurso do MDG. O sistema de indicadores de medição da eficácia e eficiência do PGRH prevê contemplar os níveis de região hidrográfica, de bacia hidrográfica, e de massa de água. Este sistema prevê avaliar a evolução do estado, das pressões, das respostas e do progresso conducente ao cumprimento dos objectivos ambientais, pelo que, incluirá, pelo menos, indicadores de pressão, estado, resposta e progresso (construídos com base nos anteriores e produzidos a partir de dois momentos de avaliação). Estes indicadores de eficácia e eficiência dos PGBH são considerados no MDG ao nível da avaliação do estado das massas de água face às pressões a que estão sujeitas, e à efectividade de impacto das medidas estipuladas para atingir os objectivos ambientais propostos.

Transversal a todas as partes dos PGRH estão as representações geográficas. Nos cadernos de encargos dos PGRH são identificados cerca de 130 representações cartográficas a produzir de acordo com os requisitos legais aplicáveis. Neste trabalho optou-se por definir os elementos de simbologia a utilizar na produção cartográfica com base na norma INSPIRE - Hidrografia, no Decreto-Lei n.º 77/2006, e na cartografia WISE publicada. Foram definidos os códigos de cor de base 10 e 16 de misturas cromáticas RGB, tendo sido definidos 82 elementos de simbologia.

Na primeira geração dos planos de bacia hidrográfica, entre 1999 e 2001, os principais produtos foram os relatórios sectoriais e temáticos, embora tenha havido à data um esforço por desenvolver aplicações pontuais com o objectivo de organizar informação, de que é exemplo o CADINFES (Santos e Viseu, 1998) e a aplicação de gestão de metadados no âmbito do SNIRH, desenvolvida por Nery *et al.* (1999).

A actual geração dos PGRH regista uma alteração de paradigma de planeamento, mais vocacionado para que estas figuras de planeamento se constituam como reais instrumentos de gestão, operacionais, consultáveis e editáveis numa base diária. Essa mudança de paradigma exige que as “coisas” a gerir sejam identificadas, registadas e caracterizadas de um modo operacional e acessível aos intervenientes devidos.

No **quinto objectivo**, relativo à implementação do MDG e à exploração das capacidades funcionais de análise espacial proporcionadas pelo seu desenho, procurou-se, após o carregamento da base de dados geográficos, validar as principais características de geoprocessamento para hidrologia e hidráulica. A implementação do MDG consistiu num processo faseado:

1. construção do ficheiro XMI a partir dos diagramas de classes UML (modelo lógico);
2. validação da coerência semântica do ficheiro XMI;
3. declaração dos sistemas de referência geográfica (SRG) planimétrico e altimétrico;
4. declaração das regras topológicas;
5. construção do ficheiro XML integrado (XMI + SRG + regras topológicas);
6. transposição dos elementos de metadados do ficheiro XMI para o ficheiro XML integrado;
7. implementação do modelo físico de dados no SGBD.

O ficheiro XML integrado final tem características multi-plataforma, sendo possível a sua implementação sobre diversos SGBD, a saber: Oracle, Informix, DB2; PostGreSQL; SQL Server; MS Access; e ESRI *File Geodatabase*. Para validação e exploração das características funcionais de análise espacial foi utilizado o SGBD ESRI *File Geodatabase*.

As classes geográficas consideradas no MDG baseiam-se no atributo numérico inteiro que identifica a entidade geográfica (*IDHidro*), e num atributo textual que armazena a identificação pública permanente dessa entidade (*CodHidro*). O valor do atributo *IDHidro* segue uma filosofia de constituição baseada em dois blocos: o número da classe e o número do objecto; sendo estes valores geridos por um par de tabelas cujos valores são gerados automaticamente. Esta metodologia permite identificar univocamente todos os objectos registados na BDG e estabelecer associações baseadas nestes atributos como chaves primárias e estrangeiras. Todos os atributos de classes do MDG iniciados por *ID* (pe. *IDHidro*, *IDDrenagem*) identificam um atributo com tipo de dado numérico inteiro, e todos os atributos iniciados por *Cod* (pe. *CodHidro*, *CodUE*, *CodRH*) identificam um atributo com tipo de dados textual.

Em termos funcionais, uma das principais características do MDG é aplicar a noção de rede geométrica à representação da rede hidrográfica por meio de arcos e nós topologicamente associados. Durante a conceptualização da rede geométrica surgiram várias hipóteses de representação, uma vez que, conceptualmente, a concretização da rede não tem limite quanto ao número de tipos de entidades geográficas que participam na sua construção, ie. a rede geométrica pode ser construída a partir de diversos conjuntos de dados geográficos, desde que estes não partilhem a mesma localização geográfica. A análise técnica e funcional da concretização de uma rede geométrica levou a adoptar para os seus arcos o conceito de segmento complexo; e para os seus nós o conceito de nó simples. Esta metodologia permitiu associar classes, como estações de monitorização, barragens, infra-estruturas hidráulicas, pontes, captações superficiais, ou massas de água, aos nós da rede hidrográfica. Este desenho permitiu tirar partido de uma análise de rede em que directamente se conhecem os elementos que lhes estão associados, sem a necessidade de pré-processamentos, como o reajuste de localizações à rede.

Também os seus segmentos foram tipificados para permitir associar a sua representação a outros tipos de entidades geográficas, como: canais, adutores, talvegue (massas de água rios), ou talvegue fictício (para quando a linha central de escoamento (talvegue) está a ser representada sobre massas de água da categoria lagos ou de transição). A tipificação de segmentos e nós não pretendeu ser exaustiva, uma vez que no exercício de modelação não foi possível antecipar todas as variantes de utilização do MDG.

A implementação da rede hidrográfica revelou a utilidade de um atributo (*Activo* = 0/1) cujo valor determinasse a inclusão ou exclusão do arco ou nó da rede hidrográfica nas análises e cálculos executados sobre essa mesma rede. Na medida em que as classes de segmentos (*SegmentosHidro*) e nós (*JuncoesHidro*) da rede são especificações de super-classes próprias para a criação de redes geométricas, esse atributo é criado por defeito quando o MDG é implementado.

Apesar de a noção de rede geométrica não considerar a representação de elementos areolares, estes têm um importante papel na interpretação hidrológica dos sistemas naturais, pelo que se considerou também a sua associação à rede hidrográfica com o objectivo de facilitar a sua análise. Para esta finalidade considerou-se que a metodologia mais expedita seria associar o valor do identificador do elemento areolar ao nó de rede hidrográfica correspondente ao ponto de descarga. Assim, para todas as entidades geográficas representadas por um polígono que se pretendiam associar à rede foi criado o atributo *IDHidroJuncao*. Entre este atributo e o atributo correspondente do nó da rede (*IDHidro*) foi criada a associação correspondente.

A integração do conceito de rede geométrica no MDG permitiu também simular o escoamento superficial através dos diversos tipos de objectos geográficos representados. Foram implementadas três formas de simulação do escoamento:

1. simulação do escoamento na rede geométrica, possibilitada pela utilização de ferramentas de *tracing* aplicadas à análise de rede;
2. simulação do escoamento com base em associações entre classes, possibilitada pela utilização dos valores dos atributos *IDHidro/IDHidroJusante*, como os nós da rede ou as áreas de drenagem;
3. simulação do escoamento através da representação da rede hidrográfica por grafos, possibilitada pela representação de localizações estrategicamente ligadas por segmentos de recta.

A simulação do escoamento na rede geométrica é executável para montante ou para jusante a partir de uma localização definida pelo utilizador na rede hidrográfica. Pela evocação da associação entre as áreas de drenagem (bacias e sub-bacias hidrográficas) e os respectivos nós da rede, é possível identificar a influência da água ou poluentes no sistema hidrológico. Esta

função é particularmente interessante na avaliação do impacto das pressões antropogénicas nas massas de água a jusante.

A simulação do escoamento com base em associações entre classes é baseada na associação *IDHidro-IDHidroJusante*, no âmbito da qual o valor do atributo *IDHidro* de montante é atribuído ao valor do atributo *IDHidroJusante* da entidade geográfica a jusante. Este processo é válido para redes hidrográficas dendríticas, no âmbito das quais cada nó da rede tem um e um único nó de jusante e onde não existem casos em que a mesma partícula retorna à sua localização original, a não ser nos casos sob influência de maré ou de um sistema de bombagem. Este tipo de simulação faz-se a partir de uma única classe geográfica, os nós da rede.

O mesmo conceito e a mesma associação são aplicados ao seguimento através de áreas de drenagem, como as bacias hidrográficas e sub-bacias hidrográficas. Esta simulação não requer que todas as entidades geográficas estejam geograficamente conectadas à rede, mas apenas que cada entidade tenha registada a entidade de jusante correspondente. Esta associação permite também efectuar cálculos de acumulação de valores dos atributos, de que são exemplo os cálculos de áreas de sub-bacias hidrográficas a montante de um determinado nó da rede hidrográfica, ou o cálculo da distância ao nó final da rede de todos os arcos ou nós que a compõem.

A representação da rede hidrográfica por meio de grafos foi considerada particularmente útil no apoio à verificação das ligações entre os elementos a considerar em modelos hidrológico e hidráulicos, pelo que foi adoptado este tipo de representação no desenvolvimento do MDG. Os segmentos de recta dos grafos foram definidos com base nos seus nós de início e fim (*DeIDHidro / ParaIDHidro*, respectivamente). Cada nó do grafo está por sua vez associado à entidade geográfica que representa através do atributo *IDHidroAssoc*.

A referenciação por geocódigo foi também considerada para os casos de segmentação dinâmica linear e pontual da rede hidrográfica. Foram desenvolvidas duas classes especificamente para o registo deste tipo de eventos: *EventosLinearesHidro* e *EventosPontuaisHidro*. Para ambas as classes foi definido um atributo de desvio que permitiu aplicar um *Offset* à apresentação dos elementos gráficos resultantes da referenciação por geocódigo.

A implementação com sucesso do MDG desenvolvido numa aplicação real contribuiu para a validação e consolidação destas ferramentas em cenários de planeamento real de recursos hídricos. Reconhecendo a urgência e importância dos produtos do trabalho aqui apresentado, todas as Administrações de Região Hidrográfica (ARH) inscreveram nos cadernos de encargos para a elaboração dos PGRH a necessidade de desenvolver um modelo de dados conforme com as normas ISO 19100, que contemplassem as especificações INSPIRE, e no âmbito das quais se definiu a especificação de informação geográfica correspondente. O trabalho desenvolvido até então contribuiu com a visão do sistema real a planear no que respeita aos objectos entendidos

como “superficiais”. O posterior alargamento às componentes de águas subterrâneas, com base na mesma metodologia, permitirá fortalecer e revalidar o trabalho inovador aqui apresentado, possibilitando simular o ciclo da água. Exclui-se desta simulação as redes de abastecimento público e rejeição de águas residuais.

Os contributos para a facilitação da partilha de dados para o WISE são exemplificados no final do capítulo quinto. São evidenciadas as diferenças conceptuais e lógicas entre o MDG e a *WISE Access Tool* através de dois exemplos que salientam as operações de extracção, transformação e carregamento de dados no WISE. O relato ao WISE como plataforma comum europeia de partilha de dados sobre a política de planeamento e gestão de recursos hídricos fica mais facilitado com o contributo deste trabalho, uma vez que, sendo um modelo de dados geográficos as interrogações à base de dados geográficos podem ser de cariz espacial. Também neste aspecto, a implementação de uma aplicação real de automatização do preenchimento da *WISE Access Tool*, a partir da base de dados geográficos estruturada de acordo com o MDG desenvolvido, comprovou a sua utilidade para a produção dos ficheiros XML a reportar no âmbito da elaboração dos PGRH (artigo 13.º da DQA) (Jesus, 2011). A aplicação desenvolvida recorre a processos de extracção, transformação e carregamento para a transferência dos dados entre o modelo físico do MDG e a base de dados WISE referida.

Como contributo original da tese destaca-se o desenvolvimento de um modelo de dados geográficos operacional que suporta o registo coerente e consistente dos objectos geográficos identificáveis nos diplomas legais europeus e nacionais aplicáveis ao planeamento e gestão de recursos hídricos superficiais. É um produto tecnológico multi-funcional e multi-plataforma, escalável e tendencialmente universal que permite a representação geográfica dos objectos do mundo real mais significativos para a caracterização do sistema hidrológico superficial. O seu desenvolvimento resultou da adopção dos critérios das normas ISO aplicadas à informação geográfica (ISO 19100), das disposições de execução da infra-estrutura geográfica europeia INSPIRE e das especificações de dados da INSPIRE de temas associados a recursos hídricos e dos requisitos de relato de informação por via do WISE. Até ao desenvolvimento deste produto a informação de suporte ao planeamento e gestão de recursos hídricos, materializados nos planos de bacias hidrográficas de 1ª geração e nos instrumentos de gestão territorial como os POOC e POAAC, era baseado em repositórios de dados frequentemente não estruturados e por vezes inconsistentes entre si, com lacunas significativas em relação à disponibilidade de metadados (normalmente dissociados dos repositórios de informação), o que dificultava a sua actualização e gestão.

Os desenvolvimentos descritos na dissertação permitiram especificar um repositório único de dados que resultou da fusão de requisitos técnicos, funcionais e legais que promovem uma correcta gestão e partilha da informação geográfica no âmbito dos novos paradigmas de planeamento e gestão de recursos hídricos de enquadramento europeu e de suporte às missões dos agentes promotores desse planeamento e gestão, nomeadamente no que respeita: à

execução dos planos de gestão de bacias hidrográficas e planos específicos de gestão da água por aplicação dos seus programas de medidas; ao estabelecimento da rede de monitorização da qualidade da água por aplicação do programa de monitorização; ao controlo da emissão dos títulos de utilização de recursos hídricos; à análise das incidências das actividades humanas sobre as massas de água e zonas protegidas; e na aplicação do regime económico e financeiro (REF) nas bacias hidrográficas. O exercício de concepção de um modelo de dados, como o que foi desenvolvido, é o exercício útil para por em causa a forma como é interpretada, representada, manipulada e apresentada informação geográfica sobre recursos hídricos.

Finaliza-se a escrita da dissertação com a certeza de que há muito ainda por fazer na área da especificação de informação geográfica para planeamento e gestão de recursos hídricos. É um ponto de partida para continuar a aprofundar os conceitos explorados e desenvolver novos projectos de investigação e aplicações práticas de desenvolvimento tecnológico. Se os intervenientes no planeamento e gestão de recursos hídricos em Portugal considerarem este trabalho relevante para representarem melhor a realidade, perceberem melhor a sua dinâmica, e reconhecerem nele um mecanismo para a facilitação da partilha e entendimento da informação com que têm de trabalhar, então este trabalho terá cumprido uma das suas aplicações práticas.



## 7 TRABALHO FUTURO

Sobre o trabalho futuro, destacam-se as estratégias e objectos de investigação que se propõem para a área da especificação de informação geográfica aplicada ao planeamento e gestão de recursos hídricos. O trabalho que se identifica como pertinente desenvolver na continuidade deste doutoramento aplica-se tanto a componentes tecnológicas, como a componentes de especificação de informação geográfica no campo da modelação de dados geográficos para recursos hídricos, no âmbito das quais se procurará melhorar as funcionalidades de cálculo, análise espacial, partilha e transformação de dados neste domínio do conhecimento.

O modelo de dados geográficos desenvolvido considerou apenas as categorias de massas de águas superficiais (rios, lagos transição e costeiras) e zonas protegidas, não tendo sido considerada a categoria de massas de água subterrâneas e todos os elementos de caracterização que lhes estão afectos. Para que a caracterização do ciclo da água em meio terrestre fique completa considera-se que deveriam ser assegurados, num trabalho futuro, os seguintes aspectos relativos às águas subterrâneas: usos e necessidades de água subterrânea; balanço hídrico; pressões antropogénicas de origem tónica e difusa; riscos naturais e tecnológicos associados; zonas protegidas associadas, nomeadamente a captação de água para consumo humano, zonas vulneráveis e zonas de infiltração máxima; avaliação do estado quantitativo e químico e rede de monitorização associada à implementação dos programas de monitorização; objectivos estratégicos; objectivos ambientais e programas de medidas. Estes aspectos estão sistematizados nos documentos-guia para a implementação da DQA n.º 12 (European commission, 2003e) e n.º 18 (European commission, 2009a). A primeira abordagem ao desenvolvimento de um modelo de dados que integrou as componentes de águas superficiais e subterrâneas está descrita em Charneca *et al.* (2010); no entanto, são reconhecidas vantagens de futuros desenvolvimentos que suportem os cálculos de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos por nitratos e de suporte aos procedimentos de licenciamento de títulos de utilização de recursos hídricos.

Destaca-se também a pertinência de desenvolvimento de elementos do MDG que permitam uma melhor caracterização das variáveis económicas associadas às utilizações da água, eventualmente inspirada na base de dados da Direcção-Geral de Economia e Assuntos Financeiros da Comissão Europeia (AMECO). Na mesma linha de desenvolvimento do MDG aponta-se a análise de risco associada a recursos hídricos, nomeadamente a avaliação dos possíveis impactes das alterações climáticas, dos riscos de cheia e seca, dos riscos de erosão hídrica e costeira, dos riscos de movimentos de massas, do risco sísmico, dos riscos associados a infra-estruturas e dos riscos de poluição accidental. Neste âmbito, a resolução do conselho de ministros n.º 124/2006, de 3 de Outubro veio propor a criação do Consórcio de Investigação e Desenvolvimento (I&D) relativo aos riscos públicos (consórcio Riscos). A execução destes trabalhos considerará necessariamente os riscos referidos, permitindo a formação de massa crítica eficiente e onde eventualmente se poderão explorar as mais adequadas formas de

representação geográfica para cada um dos riscos associados a recursos hídricos. Note-se que a nível da definição dos temas da INSPIRE a especificação de dados relativa aos riscos naturais (tema 12, anexo III, *natural risk zones*) se encontra em consulta pública (em versão de trabalho) para manifestações de interesse e comentários que conduzam à sua especificação, até 2012. (INSPIRE, 2009).

Além do suporte à informação geográfica produzida na elaboração dos PGRH interessa acautelar que outros instrumentos de planeamento (nomeadamente os planos específicos de gestão da água) partilhem uma base conceptual comum e eventualmente esquemas de aplicação distintos. Na perspectiva das autoridades competentes que terão de lidar com dados provenientes de diversos instrumentos de planeamento de forma a promover a compatibilização dos usos dos recursos hídricos, considera-se pertinente estudar a melhor forma de suportar, através da especificação de informação geográfica, outros instrumentos de planeamento de recursos hídricos, nomeadamente planos de ordenamento de albufeiras de águas classificadas (POAAC), planos de ordenamento de orla costeira (POOC) e planos de ordenamento de estuários (POE).

As autoridades competentes demonstraram já a sua intenção de em 2015 elaborarem planos de gestão de regiões hidrográficas conjuntos com as congéneres espanholas, em versão bilingue. Este objectivo terá naturalmente de ser acompanhado por partilha e integração de informação que colocará sérios desafios de harmonização de informação devido a heterogeneidades conceptuais, de representação geográfica, estruturais e semânticas. Para que estes instrumentos de planeamento possam ser bem sucedidos numa lógica de usos sustentáveis da água, ao invés dos antigos usos equitativos, é urgente desenvolver, a curto prazo, a análise e os procedimentos de integração entre os sistemas de informação que suportam este tipo de decisões. Witschas (2005) apresenta os desafios de cartografar elementos transfronteiriços para o planeamento ambiental e ordenamento do território.

Através do exercício da modelação de dados geográficos apresentado na dissertação evidenciou-se a vantagem da utilização da modelação de dados geográficos para outras áreas do ordenamento do território e do planeamento ambiental. Advoga-se assim que outros instrumentos de gestão territorial, como os PROT, PDM, PEOT, venham a dispor, num futuro próximo, de uma especificação de informação geográfica (da qual conste um modelo de dados geográficos) que os uniformize em termos conceptuais e lógicos onde tal for aplicável. Este trabalho iniciou esse caminho, aplicando a modelação de dados geográficos aos PGRH.

A DGOTDU elaborou a "Norma técnica sobre o modelo de dados para o plano director municipal" (DGOTDU, 2011) com o objectivo de assegurar um nível básico de uniformização da informação geográfica associada aos PDM, que permita a sua integração em sistemas de informação de âmbito regional e nacional e a sua utilização para finalidades de análise territorial a níveis de agregação supra-concelhios. Considera-se pertinente um estudo de avaliação de conformidade dos elementos considerados na norma técnica a publicar e no modelo de dados geográficos desenvolvido no âmbito da dissertação.

Ainda no âmbito do suporte aos produtos resultantes da elaboração do PGRH salienta-se que estes instrumentos prevêem na sua parte 7 um sistema de promoção, acompanhamento e avaliação da sua implementação. Acredita-se que os dados que permitirão calcular os indicadores deste instrumento de planeamento estão já considerados no desenvolvimento actual do MDG, como é o caso do estado das massas de água (indicadores de estado), das pressões antropogénicas identificadas (indicadores de pressão), e do programa de monitorização (indicadores de progresso). Ainda assim poderá haver a necessidade de considerar outros que venham a relevar-se úteis para a avaliação da implementação do PGRH, e eventualmente na facilitação de acções de participação pública e das medidas de mitigação de pressões antropogénicas (indicadores de resposta).

Uma vez que o MDG desenvolvido resulta de um conjunto de critérios para cumprir objectivos de suporte a informação resultante de instrumentos de gestão territorial e de partilha de dados com a comissão europeia sobre o estado de implementação da DQA, é pertinente assegurar que, quer o modelo lógico, quer a sua documentação facilitem os processos de transformação de dados, nomeadamente em conformidade com as especificações dos vários temas da INSPIRE (p.e. hidrografia, zonas de risco natural ou instalações de monitorização do ambiente) e para a estrutura de dados WISE (WISE *Access tool* – Art. 13.<sup>o</sup>). Podem ser considerados dois tipos de transformação (INSPIRE D2.6, 2008b; Annex A): i) conversão em tempo real; ou ii) conversão para uma colecção de conjuntos de dados derivada da transformação. O projecto GIMODIG<sup>91</sup> explorou a transformação de dados em tempo real através da utilização de documentos XSLT<sup>92</sup> (Lehto e Sarjakoski, 2004). O projecto SDIGER<sup>93</sup> explorou a transformação de um modelo de dados geográfico espanhol e francês, para um modelo de dados único comum (Vautier, 2005).

Apesar da utilização do conceito de modelação centrada em objectos na declaração do modelo lógico de dados, as propriedades das classes geográficas incluem a sua representação geográfica vectorial, sendo esta única para cada classe deste tipo. A cada classe do modelo lógico desenvolvido corresponde apenas um tipo de representação geográfica vectorial, pelo que a utilização de um paradigma de declaração que adoptasse o princípio de representação geográfica múltipla seria vantajoso para processos de transformação de dados e de representação multi-escala baseada em processos de generalização de informação geográfica.

O trabalho da dissertação focou-se na estrutura de dados e respectivas capacidades funcionais, na descrição dos conceitos aplicáveis ao universo de discurso definido e no suporte a diversos casos de uso (produção cartográfica, análise espacial para hidrologia e hidráulica, relato ao WISE e suporte ao PGRH). As componentes de sistemas de referência, qualidade dos dados, metadados, captura de dados e simbologia de apresentação dos objectos geográficos foram

---

<sup>91</sup> <http://gimodig.fgi.fi>

<sup>92</sup> *eXtensible Stylesheet Language Transformations*

<sup>93</sup> <http://sdiger.unizar.es>

também consideradas no trabalho, no entanto, não foram apresentadas com recurso à abordagem descrita na metodologia para a especificação de informação geográfica da infra-estrutura de informação geográfica INSPIRE (2008a), dado que esse não era o objectivo do trabalho. Uma vez que se prevê a médio prazo uma transformação de dados em conformidade com as especificações de dados dos temas da INSPIRE, interessa assegurar no futuro que todas as componentes da especificação de informação geográfica para o planeamento e gestão de recursos hídricos estejam conceptual e funcionalmente aptas para essa transformação, nomeadamente através da descrição dos seguintes aspectos: âmbito da especificação de informação; enquadramento (nomes e acrónimos, referências normativas, termos e definições, símbolos e abreviaturas); enquadramento temático (resumo, objectivo, tipo de representação geográficas – *p.e.* vectorial, resolução espacial); estrutura e descrição de conceitos; sistemas de referência; avaliação da qualidade dos dados; metadados; disponibilização e codificação dos dados; aquisição e simbologia de apresentação.

A integração de informação geográfica está associada à unificação de dados com uma base semântica comum que pode ser obtida de fontes distintas (Calvanese *et al.*, 2005; Ullman, 2000). A heterogeneidade é um dos problemas que a integração de informação geográfica enfrenta. Por exemplo, dois sistemas de informação sobre massas de águas superficiais podem representar os respectivos objectos com diversos níveis de heterogeneidade (Hakimpour, 2003): heterogeneidade do modelo conceptual (num sistema o conceito de rio é representado por um objecto geográfico e no outro através de uma associação); heterogeneidade da representação geográfica (num sistema o rio pode ser representado por polígonos ou conjunto de pixéis, e noutro por segmentos lineares associados); heterogeneidade de estrutura de dados (diferentes atributos, tipos de dados e associações); heterogeneidade semântica (em que as descrições dos conceitos diferem). O desenvolvimento de ontologias, conceito inicialmente proposto por Gruber (1993), poderá ser aplicado a recursos hídricos de forma a contribuir para resolver as questões de heterogeneidade apontadas em situações de integração deste tipo de informação e para os casos de uso apontados no trabalho da dissertação. O papel das ontologias no desenvolvimento de modelos de dados é discutido em Sugumaran e Storey (2006). São também inúmeras as propostas que usam ontologias formais para enriquecer o esquema conceptual com o objectivo de facilitar a integração de informação (Fonseca *et al.*, 2002, 2003; Hakimpour, 2003; Hakimpour e Geppert, 2002). O processo de interrogação com base em ontologias é explorado em Zhang (2005) e uma proposta para minimizar os efeitos da heterogeneidade semântica na integração de informação em infra-estruturas de informação geográfica é apresentada em Lutz *et al.* (2009) e Buccella *et al.* (2011). Os desenvolvimentos preliminares de uma ontologia aplicada a recursos hídricos no âmbito da implementação da DQA são apresentados em Charneca *et al.* (2007b).

Como estímulo à interoperabilidade entre sistemas de informação geográfica considera-se relevante a tradução dos elementos do MDG desenvolvido para esquemas de aplicação GML (*Geography Markup Language*), no âmbito dos quais os elementos geográficos possam ser descritos com recurso a linguagem de marcação extensível (XML). A GML é utilizada para a

modelação de dados geográficos e como um formato aberto de partilha de informação geográfica (ISO 19136:2007). Como a maior parte das linguagens baseadas em XML, existe um documento que define a estrutura e a descrição dos dados e um outro que contém os dados em si. São já vários os esquemas de aplicação GML publicados<sup>94</sup> que servem domínios técnico-científicos específicos ou comunidades de utilizadores com interesses particulares. O esquema de aplicação GML dedicado aos aspectos geológicos<sup>95</sup> das águas subterrâneas e aos detalhes técnicos de poços e furos e respectivas medições é apresentado em Boisvert e Brodaric (2011). Note-se, no entanto, que a transformação de dados descritos por esquemas GML não é de aplicação universal, nomeadamente para os casos em que os volumes de dados atingem os vários terabytes, como são os casos de imagens obtidas por detecção remota ou de simulações computacionais de previsão meteorológica. Para estes casos a codificação em sistema de ficheiro pode, por razões operacionais, ser a mais indicada uma vez que a codificação de informação baseada em XML pode tornar-se impraticável.

Actualmente o WISE não é suportado por um modelo de dados geográficos e a sua especificação não adopta os critérios das normas internacionais ISO aplicadas a informação geográfica ou das especificações de informação geográfica dos temas da INSPIRE, no entanto, muitas das respostas às suas questões podem ser geradas por análise espacial e geoprocessamento de conjuntos de dados geográficos, o que indica a sua quase natural evolução futura para uma especificação de informação geográfica. Desde a criação do WISE que se prevê que venha a suportar outras directivas europeias além da DQA, nomeadamente a directiva das águas balneares, a directiva dos nitratos, a directiva das águas para consumo humano e águas residuais, a directiva das águas subterrâneas, a directiva de avaliação e gestão do risco de inundação e eventualmente a directiva-quadro “estratégia marinha”. Em parte, o trabalho realizado considera já tipos de objectos geográficos de interesse para as directivas citadas, no entanto, não estão estudados todos os seus requisitos técnicos e funcionais que suportariam uma especificação de informação conjunta das directivas aplicadas a recursos hídricos ou individualmente para cada uma delas.

Destaca-se das directivas citadas a da avaliação e gestão do risco de inundação (directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro), transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de Outubro. Este diploma legal prevê a execução dos planos de gestão dos riscos de inundações (PGRI) nos quais se inclui: a avaliação preliminar de riscos de inundações; a proposta das zonas de riscos potenciais significativos de inundações; a elaboração das cartas de zonas inundáveis para áreas de risco e as cartas de risco de inundações. Este diploma cria também a Comissão Nacional da Gestão dos Riscos de Inundações (CNGRI). Pelos elementos referidos e pela urgência da sua elaboração considera-se

---

<sup>94</sup> <http://www.ogcnetwork.net/node/210>

<sup>95</sup> *GroundWater Markup Language Specification v. 1.0*

pertinente poder dispor de uma especificação de informação geográfica de suporte aos PGRI, devidamente articulado com o WISE e com as especificações de dados dos temas INSPIRE, nomeadamente o tema relativo a zonas de risco (tema 12, anexo III – *natural risk zones*). A ligação com sistemas de aviso e alerta e de previsão em tempo real para antecipação de desastres naturais associados a recursos hídricos e associados a sistemas de suporte à decisão é encarada também como um objectivo de futuro (Plate, 2007; Gourbesville, 2008).

Com a definição dos vários temas dos anexos I, II e III da INSPIRE e com a expectável partilha de dados de modelos de dados regionais ou locais para os modelos de dados dos temas INSPIRE, é pertinente definir o mapa das transformações que permitam a partilha de informação nacional para a infra-estrutura de dados europeia. Não é ainda evidente se será necessário especificar transformações entre diferentes esquemas de aplicação europeus (p.e. para diferentes representações) ou se haverá a necessidade de criar diferentes produtos de informação (p.e. a partir de relatórios ou informação de base). É necessário investigar a validade da adopção de ontologias neste contexto.

O modelo lógico de dados foi declarado através de diagramas de classes UML para os quais se utilizou o perfil *ArclInfo UML model*. A utilização deste perfil facilitou a implementação recorrente das versões do modelo lógico num SGBD com capacidade de registo de objectos geográficos; no entanto, a utilização deste tipo de implementação não aplicou uma codificação de informação geográfica em GML (*Geography Markup Language*), tal como definida na norma ISO 19136. A declaração de diagramas UML totalmente conformes com a norma ISO 19109, em que a geometria das classes é declarada por primitivas geográficas GML (GML\_Point, GML\_Curve, GML\_Surface, etc.), permitiria a conversão do modelo lógico declarado em UML, para um modelo lógico GML. A conversão de diagramas de classes UML em GML é discutida em Grønmo *et al.* (2002), em Portele e Renkert (2005) e em Golodoniuc e Cox (2010).

Sendo os diagramas de classes UML reconhecidamente não refinados para fornecer todos os aspectos relevantes de uma modelação de dados, nomeadamente restrições ao comportamento ou regras de integridade entre objectos, existe a necessidade de adoptar uma linguagem de declaração de restrições que possa ser integrada no UML e que permita esse nível de refinamento (ISO 19103:2005). A linguagem de restrição de objectos (OCL - *Object Constraint Language*) é uma linguagem formal utilizada para definir expressões de restrição aplicáveis a elementos de diagramas UML. A definição da semântica da OCL é informal e utiliza notação matemática (Ritchers e Gogolla, 1998). Por exemplo, a definição de restrição da unidade de medida “metro” para os valores de um atributo de comprimento assumiria a expressão {comprimento.uom = “m”}. Note-se no entanto que a OCL não reconhece o conceito de “vazio/nulo” pelo que as restrições que incluem expressões que validem se um valor é nulo têm de ser declaradas através de linguagem natural (INSPIRE D2.5, 2010). Um estudo da aplicação da OCL aos diagramas de classes do MDG, considera-se um tópico de trabalho futuro, uma vez que podem ser descritas sobre classes, atributos, associações e operações aplicáveis a classes.

A caracterização dos ciclos de vida dos objectos geográficos é considerada de grande importância na gestão de informação geográfica. No trabalho da dissertação demonstrou-se pontualmente os critérios de uso dos ciclos de vida e a sua importância, no entanto, uma descrição mais consolidada dos ciclos de vida dos objectos geográficos da qual conste um conjunto de propriedades que descreva as características temporais de uma versão de dados, ou as diferenças entre versões, seria útil para compreender melhor o histórico de alterações de que os dados tenham sido alvo. Também as regras que estabeleçam que tipos de alterações originam novas versões ou a eliminação dos objectos geográficos, seriam igualmente úteis para a gestão e utilização da informação geográfica. Perspectivas para a definição de identificadores únicos de objectos geográficos e critérios para a caracterização dos ciclos de vida no âmbito de uma infraestrutura de dados geográficos são explorados em Grémeaux (2011).

O sistema da ISO e o do comité federal de dados geográficos (FGDC, 2008a) dos estados unidos diferem na filosofia de abordagem à caracterização dos ciclos de vida da informação geográfica. O sistema do ciclo de vida da ISO fornece a base conceptual para o desenvolvimento de aplicações que suportem a captura, manutenção e acesso aos dados por parte dos utilizadores. É orientado para produtos físicos (focado no hardware e software) que podem requerer a actualização ou eventual substituição devido à sua dependência da programação e especificações técnicas.

O sistema do ciclo de vida do FGDC usa muitos dos conceitos da ISO mas focados nos dados, que podem existir num sistema ou ser mantidos por uma ou mais aplicações. Os dados e o seu ciclo de vida devem ser independentes da plataforma e do sistema que os gere, de forma a poderem evoluir ou ser migrados para novas plataformas ou aplicações à medida que os requisitos de negócio se alterem. Em oposição a uma interface, que pode alterar-se conforme novos desenvolvimentos, os dados podem ser alterados na estrutura mas não necessariamente no conteúdo; os dados devem ser multi-uso (deverão poder ser utilizados por múltiplos utilizadores, em múltiplos sistemas e para múltiplos propósitos).

Quando o objectivo é modelar dados geográficos aplicáveis ao planeamento e gestão de recursos hídricos e conseqüentemente a estudos hidrológicos e hidráulicos, é aconselhável ter-se em conta o potencial uso desses dados em modelos matemáticos. Considera-se pertinente que o modelo de dados apresente um nível de conformidade mínimo de representação do mundo real para que possa ser utilizado como fonte de dados para modelos matemáticos aplicados a hidrologia e hidráulica. Em Jacob et al. (2010) é apresentada a construção de um modelo hidrológico apoiada em ferramentas SIG. O mecanismo de partilha de informação entre modelos matemáticos com base na especificação OpenMI (Gregersen *et al.*, 2007) tem sido aplicado a diversas aplicações de modelação matemática pelo que consitui um "minimo denominador comum" entre os modelos matemáticos conformes com esta especificação (Kokkinos e Loukas, 2010). Acredita-se que os conceitos desta especificação aplicados à modelação de dados geográficos de recursos hídricos poderão potenciar o desenvolvimento de novas capacidades de pré-processamento e pós-processamento para este tipo de modelos matemáticos. Os benefícios e desafios da aplicação da

especificação OpenMI à modelação matemática de recursos hídricos são apresentados em Safiolea *et al.* (2010). A implementação de um mecanismo de partilha de dados em fase de processamento de modelos matemáticos está já ser aplicada à modelação de águas subterrâneas, nomeadamente ao modelo FeFlow (Becker, 2011).

A simbologia de apresentação de objectos a partir de serviços de dados geográficos utiliza uma especificação em XML<sup>96</sup> do *Open Geospatial Consortium*, denominada *Styled Layer Descriptors* (SLDs). A simbologia desenvolvida no âmbito dos trabalhos da dissertação foi declarada com recurso à tecnologia SIG utilizada, que resultou das especificações legais nacionais e em certos casos da conversão para essa tecnologia da especificação INSPIRE do tema hidrografia. Para a publicação de serviços de dados geográficos (WMS) utilizando os conjuntos de dados considerados no modelo de dados geográficos desenvolvido sugere-se a transformação dessa simbologia para ficheiros .SLD, para que a visualização desses objectos esteja conforme com as especificações referidas.

---

<sup>96</sup> <http://schemas.opengis.net/sld/1.0.0/StyledLayerDescriptor.xsd>

## BIBLIOGRAFIA

- Alves, M.H. (2008). Tipologia de Rios em Portugal Continental no âmbito da implementação da Directiva Quadro da Água, I – Caracterização abiótica. MAOTDR.
- Alves, M. H.; Bernardo, J. M.; Cortes, R. V.; Feio, M. J.; Ferreira, J.; Ferreira, M.T.; Figueiredo H.; Formigo, N.; Ilhéu, M.; Morais, M.; Pádua, J.; Pinto, P.; Rafael, T. (2006). Tipologia de rios em Portugal Continental no âmbito da Directiva Quadro da Água. 8.º Congresso da Água, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH).
- Alves, M.H.; Bernardo, J. M.; Figueiredo, H. D.; Martins, J. P.; Pádua, J.; Pinto, P.; Rafael, M. T. (2004). Aplicação do Sistema B da Directiva Quadro da Água na identificação de tipos de rios em Portugal Continental. Actas do 7.º Congresso da Água, Água – Qualidade de toda a Vida, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH), Lisboa, 8 a 12 de Março.
- Hering, D.; Moog, O.; Sommerhäuser, M.; Vlek, H.; Birk, S.; Buffagni, A.; Feld, C.; Ofenböck, T. (2002). *The development and testing of an integrated assessment system for the ecological quality of streams and rivers throughout Europe using benthic macroinvertebrates. Manual for the application of the AQUEM system.*
- Arévalo, J.; Martinez C.; Simonazzi W. (2010). *BeETLe: Herramienta ETL geo-espacial libre. IV Jornadas de SIG Libre.* Girona, Espanha.
- Atkins (2009a). *Tools and services for reporting under RBMP within WISE. Guidance on reporting of spatial data for the WFD (RBMP).* Version 3.0 (Document 3), December 21.
- Atkins (2009b). *Tools and services for reporting under RBMP within WISE: Reporting of the River Basin Management Plans - A user manual (Document 1).* WISE Access Tool. Recurso Online: <http://water.eionet.europa.eu/schemas/dir200060ec/resources/Reporting%20User%20Manual%20RBMP%20v2.0.pdf>.
- Bamps, C.; Beusen, P. (2008). *Spatial Data Infrastructures in Portugal: State of play 2007.*
- Batty, M.; Xie, Y. (1994). Modelling inside GIS: Part 1. Model structures, exploratory spatial data analysis and aggregation, *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, Vol. 8 (3), p. 291–307.
- Becker, B.P.; Schuttrumpf, H (2011). *An OpenMI module for the groundwater flow simulation programme Feflow.* *Journal of Hydroinformatics*, Vol.13 (1), p. 1-12. ISSN: 1464-7141. doi: 10.2166/hydro.2010.039.
- Bédard, Y. (1999). *Visual modelling of spatial databases: towards spatial PVL and UML.* *Geomatica, Journal of the Canadian Institute of Geomatics*, Vol. 53 (2), p. 169-186.

- Bento, J.; Matos, J. (1998). *Comentários ao documento "Organização da Informação dos Planos de Bacia Hidrográfica"*. Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção. 9 p.
- Bettencourt, A.M.; Bricker, S. B.; Franco, A.; Marques, J.C.; Melo, J.J.; Nobre, A.; Ramos, L.; Reis, C.S.; Salas, F.; Silva, M.C.; Simas, T.; Wolff, W.J. (2003). *Typology and Reference Conditions for Portuguese Transitional and Coastal Waters*, INAG e IMAR.
- Bishr, Y. (1997). *Semantic aspects of GIS interoperability*. PhD thesis. Wageningen Agriculture University.
- Blaaha, R.; Premerlani, W.; Rumbaugh, J. (1988). *Relational database design using an object-oriented methodology*. *Communications of the Association for Computing Machinery*, Vol. 31 (4), p. 414-427.
- Boisvert, E.; Brodaric, B. (2011). *Groundwater Markup Language (GWML) – enabling groundwater data interoperability in spatial data Infrastructures*, *Journal of Hydroinformatics*. Vol. 14 (1), p. 93–107. doi:10.2166/hydro.2011.072.
- Booch, G. (1994). *Object-oriented analysis and design design with applications*. 2ª edição. Redwood City, CA: Benjamin/Cummings.
- Booch, G.; Jacobson, I.; Rumbaugh, J.(1998). *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley Object Technology Series. ISBN-10: 0201571684.
- Booch, G.; Maksimchuk R.; Engle M.; Young, B.; Connallen J.; Houston K. (2007). *Object-Oriented Analysis and Design with Applications, Third Edition*. Addison-Wesley Professional. ISBN: 0-8053-5340-2
- Borges, K.; Davis C.; Laender, A. (2001). *OMT-G: An object-oriented data model for geographic applications*. *GeoInformatica*, Vol. 5 (3), p. 221-260. doi: 10.1023/A:1011482030093
- Broder J.; Bédard Y. (2002). *Extending geospatial repositories with geosemantic proximity functionalities to facilitate the interoperability of geospatial data*. *Symposium on geospatial theory, processing and applications*. Ottawa.
- Buccella A.; Cechich, A.; Gendarmi, D.; Lanubile, F.; Semeraro, G.; Colagrossi, A. (2011). *Building a global normalized ontology for integrating geographic data sources*. *Computers & Geosciences*, Vol. 37 (7), p. 893-916.
- Bunyakiati, P.; Finkelstein, A. (2009). *The compliance testing of software tools with respect to the UML standards specification – the ArgoUML case study*. *ICSE Workshop on automation of software test*, Vol. 5 (2), p. 138-143.

- Caeiro, C. (2008). Portabilidade do catálogo de objectos proposto para a informação geográfica em Portugal. Mestrado em engenharia geográfica e geoinformática (Sistemas de Informação Geográfica). Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências - Departamento de Eng. Geográfica, Geofísica e Energia.
- Calvanese, D.; Giacomo, G.D. (2005). *Data integration: a logic-based perspective*. *Artificial Intelligence Magazine*, Vol. 26 (1), p. 59–70.
- Câmara, G. (1995). *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. São José dos Campos: INPE, 1995. Tese de doutoramento.
- Câmara, G.; Monteiro, A. M. V.; Cartaxo, R.; Paiva, J. A. C. (2002). *TerraLib - Tecnologia Brasileira de Geoinformação: para quem e para quê?*. *Informática Pública*, Vol. 4 (1), p. 9-16.
- Cardoso A.H. (1998). *Hidráulica Fluvial*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Caserta, J. (2004). *The Data Warehouse ETL Toolkit*. Wiley. ISBN 0-7645-6757-8.
- Charneca, N. (2006). *Implementation of the GIS Elements in the context of the European Water Framework Directive. The Geospatial Data Model*. Springer-Verlag: *Integration of Information for Environmental Security. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Dezembro de 2006. Turquia. H.Gonca Coskun et al. (eds), p. 175-187.
- Charneca, N. (2007a). *The Water Framework Directive Geospatial Data Model (Article 3 Dataset)*. Outubro de 2007. Relatório de estágio científico. *Joint Research Centre, European Commission*. 155 pp.
- Charneca, N.; Chaves, M.; Rodrigues, C. (2007). *An Ontological Representation for Water Resources Management. 13<sup>th</sup> EC-GI&GIS Workshop. INSPIRE Time: ESDI for the Environment*. Porto, Portugal.
- Charneca, N.; Oliveira, M.; Oliveira A. (2010). Modelo de dados do sistema de informação geográfica da ARH do Centro I.P. – Relatório 1: Análise de requisitos técnicos e funcionais do modelo de dados geográficos. Relatório 405/2010 – NTI/NAS. LNEC.
- Chen, P. (1976). *The entity-relationship model – toward a unified view of data*. *ACM Transactions on database systems*, Vol. 1 (1), p. 9-36.
- Cima, J. (2009). *Technical Support in Relation to the Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) – A record of the changes made during development of the WFD reporting schemas (Document 4)*. European Commission – DG Environment. Versão 4.3, 22 de Outubro.

- Coetsee, S. (2011). *Results from a normative dependency analysis of geographic information standards*. *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 33 (5), p. 485-493.
- Cortes, R.; Ferreira M. (2009). Estado ecológico das massas de água. A situação em Portugal. 6º Congresso ibérico sobre gestão e planeamento de água. 4 a 7 de Dezembro. Vitoria - Gasteiz
- Couclelis, H. (1992). *People manipulate objects (but cultivate fields): beyond the raster-vector debate in GIS*. In: A.U. Frank and I. Campari, eds. *Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space*. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 639. Berlin: Springer, p. 65–77.
- Cova, J.; Goodchild, M. (2002). *Extending geographical representations to include fields of spatial objects*. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 16 (6), p. 509–532.
- Cox, S. (2007). *Observations and Measurements - Part 1 - Observation schema*. Version 1.0. OGC 07-022r1. *OpenGIS® Implementation Standard*.
- De Jager, A.L.; Vogt, J.V. (2010). *Development and demonstration of a structured hydrological feature coding system for Europe*. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55 (5), p. 661-675, Taylor and Francis.
- DFDD (2010). *Implementation Guide to the DGIWG Feature Data Dictionary (DFDD)*. Edição 2.1.4. HBK-DP-10-001-DFDD\_Handbook.
- DGOTDU (2005). *Servidões e restrições de utilidade pública*. 4ª Edição revista e actualizada. Direcção de Serviços de Estudos e Planeamento Estratégico / Divisão de Normas.
- DGOTDU (2011). *Norma técnica sobre o modelo de dados para o plano director municipal*. Relatório v 1.1.
- Dunsford, H.; Orden, M.; Kadlec, J. (2009). *MapWindows GIS: Developer's corner*. *Idaho State University, Geospatial Software Lab*.
- Egenhofer, M.; Frank, A. (1989). *Object-oriented modeling in GIS: inheritance and propagation*. Proceedings of Auto-Carto 9, Baltimore, Maryland. Editor: E. Anderson. (*American Congress on Surveying and Mapping American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*), p. 588–598.
- Egenhofer, M.; Kuhn, W.; Frank, A.; McGranaghan, M. (1990). *Address different aspects of formalizing human communication about geographic space*. *National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA)*. Santa Barbara, California. *Technical report 90-13*.

- Endreny T.; Wood, E. (2003). *Maximizing spatial congruence of observed and DEM-delineated overland flow networks. International Journal of Geographic Information Science*. Vol. 17 (7), p. 669–713.
- ESRI (2003a). *Building Geodatabases with CASE Tools*. Recurso Online: <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.documentation.viewDoc&PID=43&MetalD=658>
- ESRI (2003b). *PLTS GIS Data ReViewer 4.2. White Paper*. Recurso Online: [www.esri.com/software/arcgis/extensions/plts](http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/plts)
- ESRI (2005). *Designing geodatabases with Visio – ArcGIS 9*.
- ESRI (2008). *XML Schema of the Geodatabase. ESRI Technical Paper*.
- ESRI (2011). *ArcGIS Server 10 - Functionality Matrix*.
- ESRI (2011a). *ArcGIS for INSPIRE. White paper*. 18 pp.
- European Commission (1996). *Natura 2000, DG XI's Nature Newsletter*, 1 de Maio. Recurso Online: [http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/nat2000newsl/nat01\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/nat2000newsl/nat01_en.htm).
- European Commission (2003a). *Guidance document n.º 2 - Identification of Water Bodies*. ISBN 92-894-5122-X; ISSN 1725-1087. *Produced by Working Group on Water Bodies*.
- European Commission (2003b). *Guidance document n.º 3 - Analysis of Pressures and Impacts". Produced by Working Group 2.1 – IMPRESS*. ISBN 92-894-5123-8.
- European Commission (2003c). *Guidance document n. 4 - Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies*. ISBN 92-894-5124-6. ISSN 1725-1087.
- European Commission (2003d). *Guidance document n.º 9. - Implementing the Geographical Information System Elements (GIS) of the Water Framework Directive*.
- European Commission (2003e). *Guidance document n.º 12 - The role of wetlands in the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. ISBN 92-894-6967-6.
- European Commission (2005). *Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential. WFD, Common Implementation Strategy Working Group 2A Ecological Status. Guidance document n.º 13*. ISBN 92-894-6968-4.
- European Commission (2005a). *Technical support in relation to the implementation of the water framework directive (2000/60/EC). Article 3 schema design*. DG Environment.

- European Commission (2005b). *Technical support in relation to the implementation of the water framework directive (2000/60/EC). Article 5 schema design*. DG Environment.
- European Commission (2009a). *Guidance document n.º 18 - Guidance on groundwater status and trend assessment. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. Technical Report - 2009 - 026. ISBN 978-92-79-11374-1.
- European Commission (2009b). *Guidance document n.º 19 - Guidance on Surface Water Chemical Monitoring under the Water Framework Directive*. ISBN 978-92-79-11297-3.
- European Commission (2009c). *Guidance document n.º 21 - Guidance for reporting under the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Report - 2009 - 029. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*. ISBN 978-92-79-11372-7.
- European Commission (2009d). *Guidance document n.º 22 - Updated Guidance on Implementing the Geographical Information System (GIS) Elements of the EU Water policy. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. Technical Report - 2009 - 028. ISBN 978-92-79-11373-4.
- European Commission (2009e). *Appendix 13.3: Guidance on the reporting of geographical data on groundwater bodies under the WFD and GWD. Guidance document n.º 22 - Updated Guidance on Implementing the Geographical Information System (GIS) Elements of the EU Water policy". Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*.
- European Commission (2009f). *Appendix 11: Implementation of the WISE metadata profile Draft Revision. Guidance document n.º 22 - Updated Guidance on Implementing the Geographical Information System (GIS) Elements of the EU Water policy". Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. ISBN 978-92-79-11373-4.
- European Environment Agency (2008). *WISE data model: Concept for an overall data model*. EEA/ADS/06/001 – Water. Version 2.0.
- European Environment Agency (2009). *Data Dictionary - Definition of WISE-SoE Reporting: Groundwater quality dataset*. Version: July 2009. European Environment Agency.
- Ferreira, M. T. (coord.); Morais, M. M.; Cortes, R. V.; Sampaio, E. C.; de Oliveira, S. V.; Pinheiro, P. J.; Hughes, S. J., Segurado, P., Albuquerque, A. C.; Pedro, A.; Nunes, S.; Novais, M. H.; Lopes, L. T.; Rivaes, R. S.; Abreu, C. & Verdaguer, R. (2009). *Qualidade Ecológica e Gestão Integrada de Albufeiras*. Relatório final produzido no âmbito do Contrato n.º 2003/067/INAG. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional – Instituto da Água. Lisboa.

- FGDC – Federal Geographic Data Committee (2008a). *Geographic Information Framework Data Content Standard* (FGDC-STD-014.0-2008). *Part 0: Base Document*.
- FGDC – Federal Geographic Data Committee (2008a). *Geographic Information Framework Data Content Standard* (FGDC-STD-014.6-2008). *Part 6: Hydrography*.
- FGDC – Federal Geographic Data Committee (2008b). *Geographic Information Framework Data Content Standard. Part 6: Hydrography*. FGDC-STD-014.6-2008
- Filho, J.; Sodr , M.; Daltio, J.; Rodrigues, V.; Vilela, V. (2004). *A CASE Tool for Geographic Database Design Supporting Analysis Patterns*. In *Proceedings of ER (Workshops): Conceptual Modelling for Advanced Application Domains*, p. 43-54.
- Foerster, T., Lehto, L., Sarjakoski, T., Sarjakoski, L. T. and J. Stoter, (2010). *Map Generalization and Schema Transformation of Geospatial Data Combined in a Web Service*. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 34 (1), p. 79-88.
- Fonseca, F.; Davis, C.; C mara, C. (2003). *Bridging ontologies and conceptual schema in geographical information integration*. *Geoinformatica*, Vol. 7 (4), p. 307–321.
- Fonseca, F.; Egenhofer, M.; Agouris, P.; Câmara, C. (2002). *Using ontologies for integrated geographic information systems*. *Transactions in GIS*, vol. 6 (3), p. 231–257.
- Freitas, A. (2008). *Modela o de uma base de dados geográfica para a série M888, 1:25000 do IGeoE*. Tese de mestrado em engenharia geográfica. Departamento de engenharia geográfica, geofísica e energia - Faculdade de ciência da universidade de Lisboa.
- GeoInfoDoc (2006). *Documentation on the Modelling of Geoinformation of Official Surveying and Mapping in Germany*. *Working Committee of the Surveying Authorities of the States of the Federal Republic of Germany (AdV)*. *Main Document*. *Version 5.1*.
- GeoNetwork (2011). *GeoNetwork User Manual, Release 2.6.4*.
- Georz-ILab & Research (2011). *INSPIRE Prototypes (Phase 2) – Dutch Kadaster*. *Release 2.0*.
- Golodoniuc, P.; Cox, S. (2010). *Geospatial Information Modelling for Interoperable Data Exchange – Application schema modelling: from concept to implementation*. Sixth IEEE International Conference on e–Science.
- Gonçalves, J.A. (2008). *Convers es de Coordenadas com o programa PROJ – Método de conversão com grelhas*. *Jornadas de Software Aberto para Sistemas de Informa o Geográfica (SASIG 2008)*.  gueda.

- Goodchild, M.F. (1992). *Geographical data modeling*. *Computers & Geosciences*, Vol. 18(4), p. 401-408.
- Goodchild, M.F.; Yuan, M.; Cova, T.J. (2007). *Towards a general theory of geographic representation in GIS*. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21, p. 239–260.
- Gourbesville, P. (2008). *Integrated river basin management, ICT and DSS: challenges and needs*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* Vol. 33, p. 312–321.
- Greenlee, D.; D. 1987. *Raster and Vector Processing for Scanned Linework*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53 (10), p. 1383–1387.
- Gregersen, J. B.; Gijsbers, P. J. A.; Westen, S. J. P. (2007). *OpenMI: Open modelling interface*. *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 9 (3), p. 175-191. IWA Publishing. doi:10.2166/hydro.2007.023.
- Grémeaux N. (2011). *Definition of guidelines for the implementation of unique identifiers and life-cycle information in pan-european datasets*. *Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Cartographic Conference*.
- Grønmo R.; Solheim L.; Skogan D. (2002). *Experiences of UML-to-GML Encoding*. SINTEF Telecom and Informatics. 5<sup>th</sup> AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma (Balearic Islands, Spain).
- Gruber, T. (1993). *A translation approach to portable ontology specifications*. *Knowledge Acquisition*, Vol. 5 (2), p. 199–220.
- Hadzilacos, T.; Tryfona, N. (1996). *Logical data modelling for geographical applications*. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 10 (2), p. 179-203.
- Hakimpour, F. (2003). *Using ontologies to resolve semantic heterogeneity for integrating spatial database schemata*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Zurique. Suíça, 191p.
- Hakimpour, F.; Geppert, A. (2002). *Global schema generation using formal ontologies*. In: *Proceedings of the ER'02: 21st International Conference on Conceptual Modeling. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2503, p. 307–321. Springer, Berlin.
- Hammer, M.; Balfors, B.; Mörtberg, U.; Petersson, M.; Quin, A. (2011). *Governance of water resources in the phase of change: a case study of the implementation of the EU Water Framework Directive in Sweden*. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, Vol. 40 (2), p. 210-220.

- Hannerz, F.; Langaas, S. (2007). *Establishing a water information system for Europe: constraints from spatial data heterogeneity*. Water and environment journal, Vol.21 (3), p.200-207.
- Hellweger, F.; Maidment, D. (1997). *AGREE - DEM Surface Reconditioning System*. in Maidment, D. R. (1997) (ed.). *GIS Hydro '97. Integration of GIS and Hydrologic modelling*. Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin. Engineering Computer Graphics Laboratory, Brigham Young University. Environmental Systems Research Institute.
- Hemmatnia, E.; Broecke, J.; Raamsdonk, K. (2010). *Harmonising Dutch National Geodata Conformant to INSPIRE Using Combined Transformation*. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Vol. 5, p. 365-381. doi: 10.2902/1725-0463.2010.05.art15
- Hesser, W.; Inklaar, A. (1997). *An introduction to standards and standardization*. Ed. Beuth Verlag, Berlin, 1997.
- Horsburgh, S.; Tarboton, D.; Maidment, D.; Zaslavsky, I. (2011). *Components of an environmental observatory information system*. Computers and Geosciences, 2011, Vol.37 (2), p. 207-218.
- Horton, R.E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. *Chorley Progress in Physical Geography*. 1995; Vol. 19, p. 533-554.
- IGP (2008). *Cartografia e ortofotocartografia à escala 1:10 000 – Normas técnicas de produção e reprodução*. Instituto Geográfico Português (IGP).
- IGP (2009). *Especificações técnicas da execução de cadastro predial. Versão 2.2*. Instituto Geográfico Português.
- INAG (1998). *Especificações técnicas para a informação geo-referenciada dos planos de bacia hidrográfica. Versão 08-05-1998*. Direcção de serviços de recursos hídricos (DSRH/INAG). Documento 053C/13 - Hidro-biblioteca (SNIRH).
- INAG (1998a). *Especificações técnicas de metadados a integrar no sistema nacional de informação de recursos hídricos. Versão 04-09-1998*. Direcção de serviços de recursos hídricos (DSRH/INAG). Documento 053C/04 - Hidro-biblioteca (SNIRH).
- INAG (2004). Recurso online: <http://www.inag.pt/inag2004> e [http://www.inag.pt/inag2004/port/r\\_externas/ue/ag\\_res\\_urb/aguas\\_res\\_urb.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/r_externas/ue/ag_res_urb/aguas_res_urb.html).
- INAG (2005). *Relatório síntese sobre a caracterização das regiões hidrográficas prevista na Directiva Quadro da Água*.

- INAG (2008). Tipologia de Rios em Portugal Continental no âmbito da implementação da Directiva Quadro da Água. I - Caracterização abiótica. MAOTDR. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2008a). Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva-Quadro da Água - Protocolo de amostragem e análise para o fitobentos – diatomáceas. MAOTDR. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2008b). Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva-Quadro da Água - Protocolo de amostragem e análise *para os macroinvertebrados*. MAOTDR. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2008c). Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva-Quadro da Água – Protocolo de amostragem e análise para os macrófitos. MAOTDR. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2008d). Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva-Quadro da Água - Protocolo de amostragem e análise para a fauna piscícola. MAOTDR. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2009a). Critérios para a classificação do estado das massas de água superficiais – Rios e albufeiras. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2009b). Planos de gestão de região hidrográfica - Documento orientador. Instituto da Água, I.P.
- INAG (2010). Critérios para a classificação do estado das massas de água superficiais – águas de transição e costeira. Anexo I (ponto de situação sobre os sistemas de classificação - portugal 2008) e Anexo II (Proposta de métricas de classificação dos peixes – águas de transição (desenvolvido no âmbito do projecto EEMA)).
- INSPIRE (2007). *Directiva 2007 / 2 / CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de Março de 2007.*
- INSPIRE (2009a). *Call for Expression of Interest for participation in development of INSPIRE data specifications for Annex II & III Data Themes.*
- INSPIRE (2010). *Infrastructure for Spatial Information in Europe. Data Specification on Coordinate Reference Systems – Guidelines. Versão 3.1.*
- INSPIRE D2.3 (2008a). *Definition of Annex Themes and Scope. Drafting Team "Data Specifications". Versão 3.0.*

- INSPIRE D2.5 (2010a). *INSPIRE Generic Conceptual Model: D2.5. Generic Conceptual Model of the INSPIRE data specifications*. Versão 3.3.
- INSPIRE D2.6 (2008b). *Methodology for the development of data specifications. Drafting Team "Data Specifications"*. Version 3.0.
- INSPIRE D2.7 (2009b). *Guidelines for the encoding of spatial data. Drafting Team "Data Specifications"*. Version 3.1.
- INSPIRE D2.8.1.8 (2010). *Data Specification on Hydrography – Guidelines*. Versão 3.0.1.
- ISO 19107 (2003). *Geographic information -- Spatial schema*.
- ISO 19110 (2005). *Geographic information -- Methodology for feature cataloguing*.
- ISO 19131 (2005). *Geographic information -- Data product specifications*.
- ISO 19135 (2005). *Geographic information -- Procedures for item registration*.
- ISO 19136 (2007). *Geographic information -- Geography Markup Language (GML)*.
- ISO 19913 (2002). *Geographic information -- Quality principles*.
- ISO/DIS 19912 (2003). *Geographic information -- Spatial referencing by geographic identifiers*.
- ISO/FDIS 19118 (2005). *Geographic information – Encoding*.
- ISO/NP 19109 (2005). *Geographic information -- Rules for application schema*.
- ISO/TS 19103 (2005). *Geographic information -- Conceptual schema language*.
- ISO/TS 19139 (2007). *Geographic information -- Metadata -- XML schema implementation*.
- Jacob, J.; Charneca, N.; David, L.; Carvalho, R. (2010). *Construção de um Modelo Hidrológico da Bacia de Aljezur Apoiada em Ferramentas SIG*. Actas das publicações do 10.º Congresso de Água. Alvor, Março de 2010.
- Jacobson, I.; Christerson M.; Jonsson, P.; Overgaard G. (1992). *Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach*. Addison-Wesley. ISBN 0-201-54435-0.
- Jen, T; Boursier, P. (1994). *A model for handling topological relationships in a 2-D environment*. In "Advances in GIS research – Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling". Pp. 73-88. Ed. Taylor & Francis, London.

- Jenson S. K.; J. O. Domingue (1988). *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54 (11), p. 1593-1600.
- Jesus, G. (2011). Modelos de partilha de dados de recursos hídricos associados à execução dos planos de gestão de bacia hidrográfica das regiões hidrográficas integradas na área de jurisdição da ARH do Norte, I.P. Relatório 5B: manual de utilizador da aplicação de partilha para o sistema WISE. Lisboa. Relatório LNEC/DHA/NTI.
- Jornal Oficial da União Europeia (2008). Regulamento n.º 1205/2008 da Comissão, de 3 de Dezembro que estabelece as modalidades de aplicação da Directiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho em matéria de metadados.
- Kjenstad, K. (2006). *On the integration of object-based models and field-based models in GIS. International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 20 (5), p. 491–509.
- Klein, W.; Denger, S.; Henchen, M.; Lepper, P.; Müller, M.; Sehr, R.; Strom, A.; Volmer, J. (1999). *Revised proposal for a list of priority substances in the context of the WFD (COMMPS Procedure)*. Fraunhofer-Institut. Germany
- Kösters, G.; Pagel, B.; Six, H. (1997). *GIS-Application development with GeoOOA. International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 11 (4): p. 307-335.
- Kottman, C.; Reed, C. (2009). *The OpenGIS Abstract Specification: Topic 5: Features (OGC 08-126)*. Versão 5.0.
- Kresse, W.; Fadai, K. (2004). *ISO Standards for Geographic Information*. Berlin. Springer ISBN: 3-540-20130-0
- Lack, T.; Cima, J. (2008). *Technical Support in Relation to the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) - A User Guide to the Streamlined Schemas for Reporting on Articles 3, 5 and 13 of the WFD*.
- Lack, T.; Nixon, S.; Cullingford, R. (2009). *Technical Support in Relation to the Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) – A user guide to the WFD reporting schemas (Document 2)*. European Commission – DG Environment. Versão 4.3, 22 de Outubro.
- Latre, M.A.; Muro-Medrano, P.R.; Nogueras-ISO, J.; Zarazaga-Soria, J., Orlova, N., Vervier, P.; Wirthmann A. (2005a). *SDIGER: A cross-border inter-administration SDI to support WFD information access for Adour-Garonne and Ebro River Basins (Application Scenario)*. European Commission research contract number – 2004 742 00004.

- Latre, M.A.; Zarazaga-Soria, F.J.; Béjar, R.; Muro-Medrano, P.R.; Nogueras-Iso, J. (2005). *SDIGER: A cross-border inter-administration SDI to support WFD information access for Adour-Garonne and Ebro River Basins*. In *Proc. of the 11th EC-GI & GIS Workshop, ESDI: Setting the Framework*, Alghero (Sardinia), Italy.
- Lehto L. (ed.) (2009). *Best Practice for Content Transformations Enabling INSPIRE-Compliant Data Delivery. Deliverable 11.1. Public report. ESDIN, European Spatial Data Infrastructure Network*, ECP-2007-GEO-317008, 44 p.
- Lehto, L.; Sarjakoski, T. (2004). Schema translations by XSLT for GML-encoded geospatial data in heterogeneous Web-service environment. *Proceedings of the XX<sup>th</sup> ISPRS Congress. Istanbul, Turkey, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXV (B4/IV), p. 177-182.
- Lillethun A. (2005). *SOSI – Norwegian feature catalogue and standardisation*. Norwegian Mapping Authority.
- Livingstone, D.; Raper, J., (1994). *Modelling environmental systems with GIS: Theoretical barriers to progress*. In *Innovations in GIS*, M. F. Worboys (Ed.), Taylor & Francis, London, p. 229–240.
- Lutz, M.; Sprado, J.; Klien E.; Schubert, C.; Christ, I. (2009). *Overcoming semantic heterogeneity in spatial data infrastructures*. *Computers & Geosciences*, Vol. 35 (4), p. 739–752.
- Maidens, J. (2010). *Updated WFD Reporting database model diagrams*. Atkins. Versão 09-02-2010.
- Maidment, D. (2002). *ArchHydro - GIS for Water Resources*. ESRI Press. Redlands, Califórnia.
- Maidment, D. R. (2008). *CUAHSI Hydrologic Information System: Overview of Version 1.1*. Austin: CUAHSI.
- Martz, L.W. and Garbrecht, J. (1999). *An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM*. *Computers and Geosciences*, Vol. 25 (7), p. 835-844.
- Matos, J. (2008). *Fundamentos de Informação Geográfica*. 5ª Edição. ISBN:978-972-757-514-5. Edições Lidel.
- Mills, D. (2006). *Technical Support In Relation to the Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. WISE Member states User Guide.
- Moody, D. (2005). Theoretical and practical issues in evaluating the quality of conceptual models: current state and future directions. *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 55, p. 243–276. doi:10.1016/j.datak.2004.12.005.

- Moroglu, M.; Yazgan, M. (2008). *Implementation of EU Water Framework Directive in Turkey. Desalination. 10<sup>th</sup> IWA International Specialized Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management*, Vol. 226 (1-3), p. 271-278.
- Néry, F.; Oliveira, R.; Rodrigues, R. (1999). Experiências e estratégias de utilização de metadados no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. II Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Instituto Português de Cartografia e Cadastro / Ordem dos Engenheiros. 23 e 24 de Setembro de 1999. Luso.
- Néry, F.; Sousa, R.; Matos, J. (2002). *HIDRO25M - Desenvolvimento de um sistema de referência por identificadores geográficos - Uma aplicação às bacias hidrográficas de Portugal Continental*. Actas do ESIG2002 - VII Encontro sobre Sistemas de Informação Geográfica e III Congresso de Informação Geográfica. USIG. Oeiras.
- NGA (2010). *Geospatial Intelligence Standards Working Group. National Geospatial-Intelligence Agency. 2010 Annual Report*.
- OGC – Open GIS Consortium (2003). *Data models and Interoperability. An Open GIS Consortium (OGC) White Paper* (Kurt Buehler).
- OGC – Open GIS Consortium (2006). *OpenGIS<sup>®</sup> Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture*. OGC 06-103r3, version 1.2.0.
- OGC – Open GIS Consortium (2007). *Geography Markup Language (GML) Encoding Standard*. OGC 07-036, versão 3.2.1.
- OGC – Open GIS Consortium (2008). *OGC Reference Model*. OGC 08-062r4. Versão 2.0.
- Oliveira M.; Charneca N. (2010). Modelos de partilha de dados de recursos hídricos associados à execução dos planos de gestão de bacia hidrográfica das regiões hidrográficas integradas na área de jurisdição da ARH do Norte, I.P. Relatório 3B: Modelo lógico de dados geográficos referente às massas de água subterrâneas”. Relatório LNEC 252/2010 – DHA-NAS/NTI.
- Oliveira, M.; Ferreira, J.P. (2002). Proposta de uma metodologia para a definição de áreas de infiltração máxima. 6º Congresso da Água, Porto.
- OMG (2007). *Object Management Group MOF 2.0/XMI Mapping, Version 2.1.1*. Dezembro de 2007.
- OMG (2010). *OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Infrastructure. Version 2.3*.

- Paiva, I.; Silva, D.S. (2006). Risco de cheia, vulnerabilidade e vias de mitigação: o Baixo-Mondego e as cheias de 2000-2001 enquanto caso de estudo. Comunicação apresentada no Congresso Ibérico sobre Gestão e Planeamento da Água. Algarve.
- Paniconi, C.; Kleinfeldt, S.; Deckmyn, J.; Giacomelli, A. (1999). *Integrating GIS and data visualization tools for distributed hydrologic modelling*, *Trans. GIS*, 3(2), 97–118.
- Parent, C.; Stefano, S.; Esteban, Z. (1999). *Spatio-temporal conceptual models: data structures + space + time*. In *Proc. 7th ACM GIS*, Kansas City.
- Peuquet, D.; Smith, B.; Brogaard, B. (1998). *Ontology of Fields. Report of a Specialist Meeting held under the Auspices of the Varenus Project, Panel on Computational Implementations of Geographic Concepts*. National Center for Geographic Information Analysis (NCGIA).
- Pfafstetter, O. (1989). *Classification of hydrographic basins: coding methodology*. Manuscrito não publicado. DNOS, Rio de Janeiro. Traduzido por J.P. Verdin, U.S. Bureau of Reclamation, Brasília, Brazil (1991).
- Pinto, A.; Viseu, L.; Santos, M.A. (1997). *Manual do utilizador da aplicação infra-estruturas*. Relatório 267/97-GHi, Lisboa, LNEC.
- Pinto, A.; Viseu, L.; Santos, M.A. (1997). *Uma aplicação de base de dados para o Cadastro Nacional de Infra-estruturas Hidráulicas*. Relatório Nº 254/97-GHi, Lisboa, LNEC.
- Plate, E.J, 2007. Early warning and flood forecasting for large rivers with the lower Mekong as example. *Journal of Hydro-environment Research* Vol. 1, p. 80–94.
- Portele, C. (2005). *Mapping UML to GML Application Schemas: ShapeChange - Architecture and Description*. interactive instruments GmbH. Version 0.3.
- Portele, C.; Renkert, R. (2005). *Geo Decision Support Services (GeoDSS) — UGAS Tool*. OGC Discussion paper. OGC 05-118. Version 0.0.3.
- Rackman, L. (1997). *Convergence or Divergence? Recent European and International Developments in Standards for Geographic Information in Lecture Material - Workshop G - JEC/GI: G27-G38*.
- Ramage S.; Lovell D. (2009). *A bridge over troubled geospatial data - and best practice for INSPIRE*. Vector1 Magazine.
- Ramos, P. (2007). *Desenhar Bases de Dados com UML*. 2ª Edição. Edições Sílabo.

- Raper, J.F. (1999). *Spatial representation: the scientist's perspective*. In: P.A. Longley, et al., eds. Geographical information systems. Vol 1: Principles and technical issues, 1. London: Wiley.
- Refractions Research (2011). *PostGIS Manual*. v1.5.3.
- Rew R.; Davis G.; Emmerson S.; Davies H.; Hartnett E. (2009). *The NetCDF Users Guide. Data Model, Programming Interfaces, and Format for Self-Describing, Portable Data. NetCDF Version 4.0.1*. Unidata Program Center.
- Ritchers, M.; Gogolla, M. (1998). *On formalizing the Object Constraint Language OCL*. Proc of the 17<sup>th</sup> International conference of conceptual modelling. Tok-Wang (ed.) Springer LNCS.
- Rocha, J. (2005). Informação geográfica, meta-informação, codificação e visualização. Tese de doutoramento. Universidade do Minho
- Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lorenson, W. (1991). *Object-oriented modeling and design*. ISBN: 978-0136298410.
- Safe software (2011). *Efficiently Harmonise Your Spatial Data for INSPIRE. FME Solutions for INSPIRE*. <http://cdn.safe.com/resources/spotlights/FME-Solutions-for-INSPIRE.pdf>
- Santos, A.; Condessa, B.; Néry, F; Mourão, R.; Reis, R. (2002). Estruturação de Informação Geográfica Digital para Planos Municipais de Ordenamento do Território (versão preliminar). CNIG, Oeiras.
- Santos, M.; Viseu L. (1998). *CADINFES - Aplicação Infra-estruturas*. Versão final. Relatório LNEC 220/98 (DHA/GHi). Lisboa.
- Shreve, R.L. (1966). *Statistical Law of Stream Number*. *Journal of Geology*. 74: 17-37.
- Silva A.; Videira, C. (2005). *UML Metodologias e Ferramentas CASE*. Vol. 1. Centro atlântico.
- Silva, H (2009). *Perfil Nacional de Metadados para Informação Geográfica (Perfil MIG)*. Versão 1.1. Recurso online: [http://snig.igeo.pt/Portal/docs/PerfilMIG\\_v1\\_1a.pdf](http://snig.igeo.pt/Portal/docs/PerfilMIG_v1_1a.pdf)
- Silva, H., Antequera, R. (2000). *Compatibilização de Cartografias Transfronteiriças: Estudo da possibilidade de comunicações e da forma de coordenar e compatibilizar os distintos SIG das regiões envolvidas*. Seminário sobre a *Coordenação de SIG e Gestão e Ordenamento de Espaços Transfronteiriços*. Universidade de Évora, 16 de Novembro de 2000.
- Silva, P; Paton, N. (2001). *User interface modelling with UML*. Information Modelling and knowledge bases XII. Dep. of computer science, University of Manchester. H. Jaakkola *et al.* (Eds.). IOS Press

- Sodre, V.; Daltio, J.; Rodrigues, M.; Vilela, V. (2004). *A CASE tool for geographic database design supporting analysis patterns*. In *Conceptual Modeling for Advanced Application Domains, Proceedings* Vol. 3289, p. 43-54.
- Sousa, L.; Néry, F.; Sousa, R.; Matos, J. (2006). *Assessing the accuracy of hexagonal versus square tilled grids in preserving DEM surface flow directions*. in Caetano, M. & Painho, M. (eds.)(2006). *Proceedings of Accuracy 2006. 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, p. 191-200. ISBN 972-8862-27-1.
- Star (2001). *Standardisation of river classification: Framework method for calibrating different biological survey results against ecological quality classifications to be developed for the WFD*. Contract No. EVK1-CT-2001-00089.
- Strahler, A.N. (1957). *Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*. *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 8 (6), p. 913-920.
- Sugumaran V, Storey V. (2006) *The role of domain ontologies in database design: An ontology management and conceptual modeling environment*. *ACM Transactions on database systems*, Vol. 31 (3), p. 1064-1094.
- Swedish Standards Institute (2006). *SS 63 70 08 Geographic Information – Surface water systems – Concept and application schema*. *Swedish Standard. Edition 1*.
- Teixeira, S. B. (2009). *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. *Administração da Região Hidrográfica do Algarve*. Faro, 207p.
- Times, V. (1994). *MGeo: Um modelo orientado a objetos para aplicações geográficas*. Recife: UFPE. Dissertação de Mestrado.
- UK TAG (2007). *UK Technical advisory group on the Water Framework Directive. Recommendations on Surface Water Classification Schemes for the purposes of the Water Framework Directive*.
- Ullman, J.D. (2000). *Information integration using logical views*. *Theoretical Computer Science*, Vol. 239 (2), p. 189–210.
- UNESCO-OMM (1992). *Glossaire international d'hydrologie, en quatre langues (Anglais, Espagnol, Français, Russe), Seconde édition*. UNESCO-OMM, Paris/Genève. Tradução portuguesa realizada pelo Instituto da Água.

- Vautier, M.L. (2005). *Differences between French and spanish thematic water models and harmonization suggestions*. SDIGER Research project. European Commission research contract number – 2004 742 00004.
- Verdin, K. L. (1997). *A system for topologically coding global drainage basins and stream networks*. Earth Resources Observation Systems (EROS) Data Center. U.S. Geological Survey. 5 p.
- Verdin, K.L.; Verdin, J.P. (1999): *A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins*. *Journal of Hydrology*, Vol. 218, p. 1-12.
- Vinhas, L, Ferreira, K. (2005). *Descrição da TerraLib In Bancos de Dados Geográficos*. Capítulo do Livro, INPE. Brasil.
- Viqueira, J. Lorentzos, N.Nieves, B. (2005). *Survey on Spatial Data Modelling Approaches, in Manolopoulos, Yannis. Spatial Databases : Technologies, Techniques and Trends*. Hershey, PA, USA: IGI Global.
- Vögt, J. (2002). *Guidance Document on Implementing the GIS Elements of the WFD*. JRC, Itália.
- Voudouris, V.; Wood, J.; Fisher, P.F. (2005). *Collaborative geoVisualization: object-field representations with semantic and uncertainty information*. In: R. Meersman, et al., eds. *On the move to meaningful internet systems OTM 2005. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3762. Berlin: Springer.
- Whiteaker, T. (2010). *HydroDesktop – (Version 1.1 Beta): Quick start guide*.
- Witschas, S. (2005). *Cross-border mapping – experiences with geodata and geonames*. Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER), Weberplatz 1, 01217 Dresden, Germany.
- Worboys, M.; Hearnshaw, H.; Maguire, D. (1990). *Object-Oriented Data Modelling for Spatial Databases*. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 4 (4), p. 369–383.
- Zarazaga-Soria, F.J.; Nogueras-Iso, J.; Latre, M.A.; Rodríguez, A.; López, E.; Vivas, P.; Muro-Medrano, P.R. (2007). *Providing SDI Services in a Cross-Border Scenario: the SDIGER Project Use Case. Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts*. ESRI Press (ed. H. Onsrud).
- Zaslavsky I.; Valentine D.; Whiteaker T. (2007). *CUAHSI WaterML*. OGC 07-041r1. *Open GIS Consortium Discussion Paper*.
- Zhang, Z. (2005). *Ontology query languages for the semantic web: a performance evaluation*. M.Sc. Thesis, University of Georgia. Atenas, 158 p.