

**Contributo para a
definição do valor dos
serviços de ecossistemas na
bacia hidrográfica do rio
Tâmega: Efeito da
contaminação por nitratos**

Maria Inês Resende Vieira de Castro

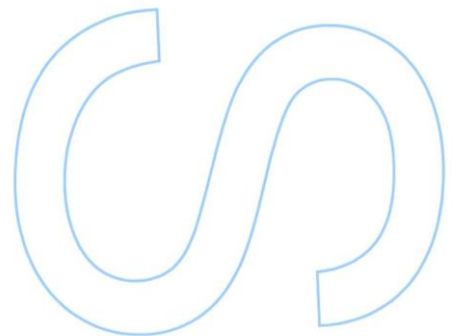
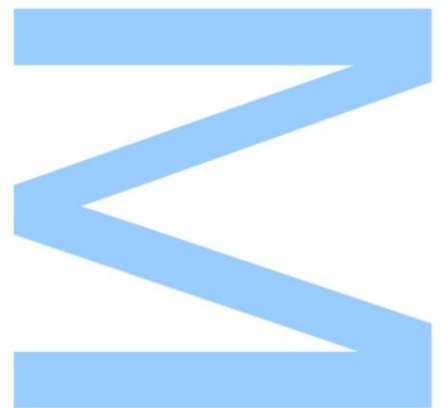
Mestrado em biologia e gestão da qualidade da água

Departamento Biologia

2014

Orientador

Maria da Natividade Vieira, Professora Associada com Agregação
da FCUP

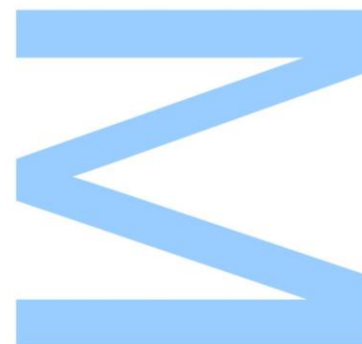




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Para a minha Nini

Agradecimentos

À Professora Natividade, agradeço a orientação, amizade, confiança e incentivo para a realização deste trabalho

À Dra. Helena Valentim, agradeço todas as condições que me proporcionou, a sua amizade e orientação e disponibilidade total.

A todos os elementos do DPI agradeço toda a disponibilidade e ajuda na realização deste trabalho

Ao Eng^o. Vitorino, agradeço toda ajuda e disponibilidade

Ao Eng^o. João Mamede, agradeço a disponibilidade total e a ajuda no trabalho em SIG

Ao meu amigo António, agradeço a disponibilidade e paciência

Aos meus pais e irmãos, Nuno e Pim, agradeço toda a força e toda a ajuda que me deram ao longo deste trabalho

Ao Miguel, agradeço toda a força, todo o carinho e todos os incentivos

À Catarina e ao Toni, agradeço toda a amizade, incentivo e força

À minha família e à minha família emprestada, agradeço todo o amor incondicional

Resumo

A água desempenha um papel fundamental na satisfação das necessidades básicas da sociedade. Atualmente existe um contínuo aumento da procura de água de qualidade e em quantidade, no entanto, estamos simultaneamente a assistir à diminuição da qualidade de ambientes aquáticos através de infiltrações de efluentes, derivados de campos agrícolas ou de novas áreas urbanas e industriais pondo em risco os ecossistemas. Com a implementação da Diretiva Quadro da Água / Lei da Água, cabe Agência Portuguesa do Ambiente, I.P garantir a monitorização da qualidade da água e a implementação das medidas que possibilitem a recuperação do estado ecológico das massas de água.

É também fundamental para a sociedade compreender que é do seu interesse que seja feita uma gestão sustentável e adequada dos sistemas naturais garantindo a sua qualidade. Para facilitar este entendimento foram criados os serviços de ecossistema, uma integração dos sistemas ecológicos em modelos económicos, captando assim o interesse do público sobre a importância dos ecossistemas para o dia-a-dia em geral.

Este trabalho teve como ponto de partida uma experiência em ambiente laboral na Agência Portuguesa do Ambiente I.P. / Administração da Região Hidrográfica do Norte entidade com competência para a gestão da água. Da experiência surgiu a ideia deste trabalho, o qual tem como objetivo determinar a influência da contaminação de nitratos num ecossistema aquático e as suas consequências nos serviços de ecossistema, utilizando um modelo e um sistema de valoração.

Concluindo, foi possível desenvolver uma base para um modelo e escolher um esquema para a sua análise, de modo a poder ser utilizado no futuro.

Palavras-chave serviços de ecossistema, contaminação por azoto, modelam em STELLA, qualidade da água.

Abstract

Currently, there is an increasing demand for a large amount of quality water. Simultaneously we are witnessing the diminished quality of aquatic environments through infiltration of effluents, derived from agricultural fields and new urban or industrial areas, endangering ecosystems. With the implementation of the water framework, it is up to the managing entities to ensure the monitoring of water quality and the implementation of measures that enable the recovery of water bodies' ecological status.

It is also fundamental for the society to comprehend that it depends on the natural systems and it is its benefit that their healthy and adequate management is made, ensuring their quality. Ecosystems services, which are an implementation of ecological systems in economical models, ecosystems services were made for an easier understanding of the public, thus capturing its interest on the importance of the ecosystems.

This work had as its starting point an experience in a water management entity's workplace, Agência Portuguesa do Ambiente I.P. / ARH do Norte. From the experience arose this project's idea, which has as its main goal an evaluation of the nitrate contamination's influence in an aquatic ecosystem and its consequences on ecosystem services, using a model and valuing system

In conclusion, it was possible to develop a base model and choose a platform for its analysis, so it could be used in the future.

Key words - Ecosystem services, Nitrogen contamination, STELLA modelation, Water quality

Índice

Agradecimentos	iv
Resumo palavras-chave	v
Palavras-chave	v
Abstract	vi
key words.....	vi
Índice de tabelas	ix
Índice de Figuras.....	ix
Lista de abreviaturas	xi
1- Introdução.....	xii
1.1- Enquadramento	xii
1.2 - Objetivos	xii
1.3 - Organização da dissertação	xiii
Parte I	xv
1- Introdução	2
1.1 - Enquadramento geral	2
1.2 - Microrganismos indicadores	6
1.3 - Indicadores biológicos	8
2 - Material e métodos.....	9
2.1 - Amostragem	9
2.2 - Análise.....	9
2.3 - Controlo de qualidade.....	19
3 - Discussão	21
II PARTE	23
1 - Introdução	24
1.1 - Serviços de ecossistema	24
1.2 - Serviços de ecossistemas hídricos	27
1.3 - Qualidade da Água.....	28
1.4 - Caracterização da bacia hidrográfica Rio Tâmega.....	33

1.5 - Valoração dos serviços de ecossistemas aquáticos	38
1.6 Valorização dos serviços de ecossistema	42
2 - Metodologia	44
2.1 - Classificação dos serviços de ecossistema	44
2.3 - Classificação de serviços de ecossistema	50
2.4 - Mapeamento de ecossistemas	54
Modelos matemáticos	57
3 - Resultados	59
3.1 – Caracterização da bacia hidrográfica do rio Tâmega	59
3.1.2 Quantidade de azoto e precipitação	66
Precipitação	68
3.2 Modelos conceptuais	70
3.3 - Classificação e valoração de serviços de ecossistema	72
4 - Discussão	77
4.1 – Caracterização da bacia hidrográfica do rio Tâmega	77
4.2 - Modelos conceptuais	79
4.3 - Classificação e valoração de serviços de ecossistema	79
6 Bibliografia	81
Anexos	84
A - 1 nomenclatura Corine land cover (CLC)	84

Índice de tabelas

Tabela 1 - reações aos diferentes meios de cultura pelos coliformes totais, termotolerantes ou E. coli	13
Tabela 2- reações típicas de salmonelas aos diferentes testes bioquímicos	18
Tabela 3 comparação das categorias dos diferentes serviços de provisão TEEB, CICES, MA adaptado [(Maes, Egoh et al. 2012)	52
Tabela 4 - comparação das categorias dos diferentes serviços de regulação TEEB, CICES, MA adaptado [(Maes, Egoh et al. 2012).....	53
Tabela 5 - comparação das categorias dos diferentes serviços culturais TEEB, CICES, MA adaptado [(Maes, Egoh et al. 2012).....	54
Tabela 6 - chave de identificação das metodologias e relevância na valoração de ecossistema.....	72
Tabela 7 tabela com classificação dos serviços culturais na bacia hidrográfica do rio Tâmega, sua valoração e metodologias de valoração mais indicado	73
Tabela 8 - tabela com classificação dos serviços de regulação na bacia hidrográfica do rio Tâmega, sua valoração e metodologias de valoração mais indicado	74
Tabela 9 - tabela com classificação dos serviços de provisão na bacia hidrográfica do rio Tâmega, sua valoração e metodologias de valoração mais indicado	75

Índice de Figuras

Fig 1 - Técnica das diluições sucessivas	11
Fig 2- diagrama de relação entre os serviços de ecossistema e o bem-estar humano (MEA adaptado (Alcamo 2003).....	25
Fig 3 - diagrama funcionamento dos serviços de ecossistema e bens estar humanos TEEB adaptado (TEEB 2010)	26
Fig 4 - ciclo do azoto aquático	29
Fig 5 - ciclo do azoto com as suas formas de armazenamento e transformações.....	30
Fig 6 - Fig 6 Quadro conceptual MEA (Alcamo 2003)	45
Fig 7 - ligação entre os serviços de ecossistema e o bem-estar humano (Alcamo 2003)	46
Fig 8 Quadro conceptual CICES [3]	47
Fig 9- Quadro conceptual TEEB (TEEB 2010).....	47

Fig 10 - Esquema de conceitos no estudo dos serviços de habitat fornecidos por um rio tributário [9+3].....	49
Fig 11 - componentes fundamentais do capital natural nas suas três principais componentes. Combinação entre os fatores bióticos e abióticos, bens abióticos não renováveis e recursos abióticos não dependentes. Adaptada Agência Europeia do Ambiente(Maes, Egoh et al. 2012).....	51
Fig 12 - - mapa qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tâmega no ano 2015 (previsão).....	59
Fig 13 - mapa qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tâmega no ano 2010..	59
Fig 14 - mapa da sub-bacia do rio Tâmega. Rio Tâmega e seus afluentes. Identificação de zonas protegidas	60
Fig 15 - mapa da sub bacia do Tâmega zona sensíveis DARU	61
Fig 16 - mapas da sub- bacia do Rio Tâmega referente á localização de Adeegas, lagares e outras agroindustriais	62
Fig 17- mapa da sub-bacia do Tâmega com a localização das captações subterrâneas	62
Fig 18 - mapa da sub-bacia do Tâmega com a localização das captações superficiais e aterros	63
Fig 19 - mapa da sub-bacia do Tâmega com a localização das industrias.....	63
Fig 20 - zonas sensíveis de nitratos e respetivas áreas de influência	64
Fig 21 mapa da sub-bacia do Tâmega com a ocupação de solo baseada na Corine Land cover.....	65
Fig 22 - modelo conceptual introdução de nitratos e melhoria da qualidade da água .	70
Fig 23 - legenda dos <i>ícones</i> utilizados em STELLA.....	71
Fig 24 - modelo em STELLA da contaminação de nitratos na qualidade da água.....	72

Lista de abreviaturas

APA, I.P. - Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

ARH do Norte - Administração da Região Hidrográfica do Norte

CICES - Common International Classification of Ecosystem Services

D.P.I. – Departamento de Planeamento e Informação

DARU - Diretiva de Águas Residuais e Urbanas

DQA – Diretiva Quadro da Água

L.A.S.M.- Laboratório de Águas- Sector de Microbiologia

MEA - Millennium Ecosystem Assessment

PGRH – Plano de Gestão das Regiões Hidrográficas

S.E. – Serviço de Ecossistema

SEPNA - Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente da Guarda Nacional Republicana

SNIRH – Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos

TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity

UFC – unidades formadores de colónias

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado

1- Introdução

1.1- Enquadramento

Na sociedade atual a monitorização dos rios surge como meio de garantir a sua qualidade ecológica ou de ajudar na tomada de decisões para o melhoramento da mesma. Esta última é essencial para a reativação de serviços de ecossistema que no passado ficaram inativos. A Diretiva Quadro da Água preconiza uma maior valorização dos aspetos ambientais o que leva a questionar uma forma de sensibilização e integração da opinião pública, na gestão dos recursos naturais.

A valoração e posterior mapeamento dos serviços de ecossistema vêm permitir essa integração e facilitar a tomada de decisões com transparência. Esta valoração vai ser essencial também para sensibilizar a população para a importância dos recursos naturais e a importância de os preservar em condições ótimas.

A presente dissertação foi desenvolvida durante 9 meses em ambiente empresarial nas instalações da Agência Portuguesa do Ambiente I.P./ ARH do Norte (APA I.P./ARH do Norte), no laboratório de águas, setor de microbiologia (L.A.S.M.), em colaboração com a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

1.2 - Objetivos

Neste presente trabalho apresenta-se uma metodologia de caracterização, quantificação, valoração e valorização de serviços de ecossistema. Neste trabalho estão também contidas as metodologias de análise utilizadas no laboratório de águas, no setor de microbiologia. Abordando a problemática da contaminação de nitratos numa bacia integrada na área de jurisdição da ARH do Norte (APA I.P./ARH do Norte) tentando ter uma perspectiva da sua influência, na qualidade da água e nos serviços de ecossistema aquáticos.

Neste sentido, constituem objetivos específicos desta dissertação:

- Experiência laboral: Preparação de amostras, meios de cultura e soluções; Esterilização de materiais e de meios de cultura; Realização de ensaios microbiológicos (coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli*, enterococos e salmonelas) e biológicos (clorofila a) em amostras de águas naturais; Realização do respetivo controlo da qualidade e de cálculos; Manuseamento dos equipamentos utilizados na realização dos ensaios supracitados; Inserção de resultados na base de dados, com vista à

elaboração de relatórios de ensaio; Participação em ensaios interlaboratoriais; Acompanhamento de trabalho de campo.

- Definição dos serviços de ecossistema e sua caracterização analisando as diferentes metodologias existentes.
- Analisar e enquadrar metodologia de valoração e valorização de serviços de ecossistema.
- Tentar aplicar as metodologias de valoração para os serviços de ecossistema presentes na bacia hidrográfica do rio Tâmega.
- Explicar a influência da contaminação de nitratos num sistema aquático através de um modelo e sua aplicação à bacia hidrográfica do Tâmega.

1.3 - Organização da dissertação

A presente dissertação teve como base um estágio laboral, no L.A.S.M. na APA I.P./ARH do Norte, que permitiu uma visão das entidades gestoras dos recursos hídricos e a importância da existência de uma monitorização cuidada dos cursos de água. Durante este período foi essencial compreender como a gestão dos recursos hídricos envolvia compatibilizar muitos usos (consumo, agricultura, indústrias...) tornando-a assim subjetiva e carente de metodologias que facilitem a decisão e ao mesmo tempo a tornasse transparente para os utilizadores. Por esta razão decidimos analisar as metodologias existentes para os serviços de ecossistema na sua caracterização e na sua valoração, na tentativa de encontrar formas que posteriormente pudessem ser utilizadas no apoio à decisão e gestão pública ou privada.

Assim o presente documento encontra-se organizado em duas partes principais:

A primeira parte (Parte I) referente ao estágio na L.A.S.M. da APA I.P./ ARH do norte subdividido em 4 capítulos onde é enquadrado o tema, as metodologias utilizadas, uma breve análise do que foi feito com algumas sugestões e recomendações e por fim as conclusões retiradas do trabalho.

A segunda parte (Parte II) referente ao tema de serviços de ecossistema está dividida em 5 capítulos. O primeiro é um enquadramento do tema e uma revisão da metodologia existente para a valoração de serviços de ecossistemas, também é feita uma caracterização da bacia hidrográfica do rio Tâmega e uma análise da importância do azoto e a sua interferência nos serviços de ecossistema. No capítulo 2 é feita uma comparação das metodologias existentes para caracterizar os serviços de

ecossistema, para criação de mapas e modelos que podem ser aplicados aos serviços de ecossistema.

O terceiro capítulo, da segunda parte, inclui uma análise do estado atual da qualidade da água da bacia do rio Tâmega, bem como a quantidade de compostos de azoto que nela existe. Inclui também uma proposta, quer de valoração dos serviços de ecossistema presentes nesta bacia hidrográfica, quer de aplicação das metodologias referidas no primeiro capítulo. Por fim, uma proposta de modelo conceptual aplicando a programa STELLA.

No quarto capítulo é discutida a aplicabilidade destes modelos e destas metodologias nas circunstâncias atuais.

Por fim, o quinto capítulo, onde são tiradas algumas conclusões e feitas algumas sugestões e recomendações.

Parte I

Estágio curricular: no laboratório de águas da rede de laboratórios da Agência Portuguesa do Ambiente I.P/ARH do Norte – setor de microbiologia

1- Introdução

1.1 - Enquadramento geral

A Agência Portuguesa do Ambiente I.P. (APA, I.P.) tem como missão *“Propor, desenvolver e acompanhar a gestão integrada e participada das políticas de ambiente e de desenvolvimento sustentável, de forma articulada com outras políticas sectoriais e em colaboração com entidades públicas e privadas que concorram para o mesmo fim, tendo em vista um elevado nível de proteção e de valorização do ambiente e a prestação de serviços de elevada qualidade aos cidadãos”*, e desta forma contribuir para o desenvolvimento sustentável do país integrando políticas públicas na abordagem e valorização dos sistemas ambientais.

No ano de 2008 a reestruturação das instituições no que diz respeito à governação dos recursos hídricos deu origem às Administrações de Região Hidrográfica (*) que de uma forma integrada passaram a gerir os recursos hídricos por bacia hidrográfica. A ARH do Norte era então responsável pela gerência de três regiões hidrográficas definidas pela Lei da Água (Lei nº58/2005 de 29 de dezembro, modificada pela Declaração de Retificação nº11 – A/2006, de 23 de fevereiro (Água 2005): RH 1 - (Minho e Lima); RH 2 - Cavado Ave e Leça; RH3 - Douro. No ano de 2012 as então administrações de região hidrográfica foram integradas na Agência Portuguesa do Ambiente, perdendo assim a sua autonomia administrativa e financeira.

A missão da APA, I.P., no que diz respeito aos recursos hídricos continua a prevalecer, garantindo uma gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, protegendo e valorizando as mesmas. Complementando estas medidas com uma administração que persegue o bem-estar social, económico e ambiental.

Cabe também a esta instituição garantir a implementação da Diretiva Quadro da Água (DQA) com o objetivo de atingir o bom estado ecológico das massas de água.

(*)As Administrações de Região Hidrográfica consistiam em serviços descentralizados que exerciam funções de proteção e valorização dos recursos hídricos numa área geográfica específica tendo como principal objetivo garantir o cumprimento da Lei da Água.

1.1.1 - Caracterização do laboratório da ARH do Norte

O laboratório da ARH do Norte está inserido na Departamento de Planeamento e Informação (DPI) cabendo a este departamento gerir o laboratório sobre a coordenação do Laboratório de referência da APA, I.P..

Nas competências do laboratório estão incluídas a execução de ensaios em amostras de águas naturais e residuais, com o objetivo de cumprir a legislação em vigor nesta matéria e em particular o Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, e a DQA. Este laboratório responde ainda a solicitações de outros departamentos da ARH do Norte e a entidades externas no âmbito das suas competências.

Para além da atividade principal acima referida, este laboratório também tem outras atividades, tais como:

- Colheitas e amostra de água;
- Desenvolvimento e implantação de novas técnicas analíticas;
- Participação em ações de formação;
- Participação em ensaios interlaboratoriais;
- Apoio ao licenciamento e fiscalização;

Os ensaios realizados no laboratório da ARH do Norte têm duas áreas específicas de ensaios:

- Físico-Química - setor de ensaios físico-químicos
- Microbiologia - setor de ensaios de biologia e microbiologia

1.1.2 - Lei da água

A DQA, Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do conselho de 23 de outubro de 2000, define a exigência da recuperação da qualidade da água, a manutenção de condições de referência e padrões de condições pristinas, em determinados espaços hídricos, e a preservação das suas funções ecológicas (DQA 2000). Estes objetivos estão subjacentes a duas orientações simples e claras, concretizadas na DQA que são: impedir deterioração da qualidade ecológica desenvolver todos os esforços para proteger e aumentar a qualidade ecológica das massas de água (DQA). Esta diretiva veio também regulamentar e uniformizar a gestão de todas as águas comunitárias com um quadro comum e coerente, tendo em conta as condições ambientais específicas

de cada estado membro, preenchendo as lacunas de informação que existiam na legislação referente à água de cada estado membro individualmente.

Esta diretiva foi transposta no final de 2005 para a legislação portuguesa tendo surgido a nova Lei da Água.

A Lei da Água regulamenta a gestão das águas interiores, de transição e subterrâneas tendo em conta 6 parâmetros:

- Travar a degradação, proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos, de transição e terrestres que dependem dos ecossistemas aquáticos (necessidades de água);
- Fomentar uma utilização sustentável de água, assente numa proteção a longo prazo deste recurso;
- Alcançar uma proteção reforçada e melhor o ambiente aquático;
- Garantir que existe uma redução gradual da poluição das águas subterrâneas e impedir o agravamento da poluição;
- Suavizar os efeitos das cheias e das secas;
- Certificar que existe um fornecimento de água em quantidade suficiente e de boa qualidade

Na DQA, o bom estado das massas de água deve ser atingido até 2015 através da aplicação das medidas incluídas nos planos de gestão das regiões hidrográficas. Cabe à APA, I.P. elaborar estes planos, onde se propõe a gestão social, económica, ambiental e sustentável dos recursos hídricos.

A DQA tem vários objetivos, destacando-se para a realização deste trabalho o 4º que se baseia “em evitar a deteriorização do estado ecológico e a poluição das águas superficiais, por forma a alcançar um bom estado destas águas” (DQA 2000)

A água é um produto essencial para a humanidade, não só pelos benefícios que traz para o homem mas pela sua importância na manutenção do ecossistema (função e integridade) e para a vida dos outros organismos. O desenvolvimento sustentável de um país depende muito quer da qualidade, quer da quantidade de água disponível, pois estes dois fatores influenciam diretamente a sua qualidade de vida. Ironicamente, é normalmente a própria população humana que pode diminuir a qualidade da água direta ou indiretamente.

A disponibilidade hídrica e as potencialidades de utilização da água não são limitadas nem consumidas pelo ciclo hidrológico, no entanto, dependem das circunstâncias ecológicas e económicas. Desta forma as variadas utilizações da água têm uma forma qualitativa e quantitativa obrigando a uma gestão sustentada e uma partilha justa destes serviços.

A qualidade da água tem um sentido muito específico, no entanto, o seu conceito é relativo, uma vez que está dependente do objetivo com que vai ser utilizada. Por esta razão a qualidade da água pode ser definida como um conjunto de fatores físico-químicos, biológicos e a sua adaptação à utilização pretendida pelo utilizador.

O Decreto-lei nº236/98, de 1 de agosto, determina as quatro principais utilizações da água: água para consumo humano, que pode ter origem em águas superficiais, subterrâneas ou de abastecimento; água para suporte de vida aquícola, normalmente dirigidas para a produção de peixe ou bivalves que tem a sua origem em águas superficiais doce ou salobras; águas balneares que podem ser de origem lótica ou lântica e podem ser doces ou salgadas, ou de transição onde o banho não esteja interdito e seja praticado aproximadamente por 100 banhistas por dia durante a época balnear e por último águas para rega que podem ser superficiais, subterrâneas ou residuais, que tendam a corresponder as necessidades hídricas das culturas agrícolas.

Para cada tipo de utilização da água é necessário definir parâmetros de qualidade. Os que estão presentes na legislação foram sobretudo desenvolvidos para evitar um surto sanitário, dando poucas informações sobre proteção do ambiente e da saúde (Mendes 2010). Os limites paramétricos podem definir a concentração de uma substância que não apresenta perigo ou risco significativo para a saúde de um grupo representativo de utilizadores; as condições em que a probabilidade de exposição a esses organismos ou substâncias é baixa; ou ainda uma fusão das duas.

Desta forma são utilizados dois limites paramétricos na legislação, Valor máximo recomendável (VMR) que é o valor de norma de qualidade que não deve ser ultrapassado e que assegura a conservação da saúde do consumidor e garante as suas necessidades (Mendes 2010), e o valor máximo admissível (VMA), é um valor da norma de qualidade que não deve ser ultrapassado, quando os valores obtidos são \leq VMR o valor limite acima é VMA, de modo a que nesse espaço (VMR-VMA) não serão encontrados riscos para a saúde dos consumidores.

1.1.3 - Poluição aquática

Nos ecossistemas aquáticos a água encontra-se combinada com outras substâncias, quer dissolvidas, quer em suspensão, devido às suas características físico-químicas. São estas mesmas substâncias, que modificam as características físicas, químicas e biológicas que vão condicionar os usos da água, ou seja, a sua qualidade. Essas substâncias podem, ou não, existir na água ou, podem até estar em quantidades excessivas que posteriormente se vão integrar nos ciclos biogeoquímicos e, conseqüentemente, nas cadeias tróficas e nos sedimentos.

A definição de poluição pode ser: inadequado para utilizar num objetivo concreto; uma qualquer modificação natural ou artificial que altere ou destrua, direta ou indiretamente, o equilíbrio do ecossistema e dos recursos naturais que ponha em perigo a saúde pública e que desta forma diminua o bem-estar do homem; ou ainda, alterar de tal forma as características da água que se torne imprópria para algumas ou todas as funções ou objetivos para a qual pudesse ser adequada.

A contaminação da água é um conceito definido como a descarga ou inserção de organismos patogénicos ou substâncias tóxicas na água que a tornam imprópria para consumo humano, ou seja, um aspeto específico da poluição.

Os problemas relacionados com a poluição podem ter uma índole quantitativa e qualitativa. A primeira diz respeito a alteração dos balanços de massa no interior do ecossistema, enquanto a segunda, abarca os efeitos causados pela presença dos poluentes no ambiente aquático que pode atingir mais ou menos o metabolismo dos organismos presentes no ecossistema.

1.2 - Microrganismos indicadores

A água tem uma enorme variedade e quantidade de seres vivos, estes organismos estão sujeitos a variações causadas por fatores ambientais e, conseqüentemente, eles próprios podem alterar o ambiente envolvente.

O número de microrganismos presentes nas fezes e na urina de animais de sangue quente é bastante elevado. Estes organismos podem ser não patogénicos, ter patogenia limitada ou serem patogénicos. A sua coexistência nos produtos de origem fecal, permite determinar se uma amostra de água foi ou não contaminada por esses produtos e se apresenta perigo de conter microrganismos patogénicos.

Os microrganismos indicadores de contaminação fecal, são aqueles que não são patogénicos ou tem uma patogenia limitada. Estes microrganismos são utilizados para monitorizar a água quanto à contaminação fecal.

Segundo Mendes, microrganismo indicador:

- Deve ser Inofensivo para o ser humano;
- Deve ter uma relação direta com o grau de contaminação e a sua concentração;
- Deve ter uma metodologia padronizada e específica e suficientemente sensível para detetar níveis baixos dos indicados;
- Deve ser de análise rápida, inequívoca e de baixo custo;
- Deve estar sempre presente quando organismos patogénicos fecais também estiverem e sempre em maior quantidade;
- Deve ser sempre mais resistente aos agentes desinfetantes que o patogénico
- Não se deve reproduzir na água;
- Distribuir-se de forma aleatória na massa de água;
- Propício para análise de todo o tipo de água;

Os indicadores mais comumente utilizados são: coliformes fecais e não fecais, enterococos fecais e salmonelas

1.2.1 - Pesquisa de coliformes totais e fecais e *Escherichia coli*

A pesquisa de coliformes fecais é de extrema importância pois estas bactérias estão presentes no trato intestinal humano e animal e também no meio ambiente. A presença destas bactérias, embora não prove de forma conclusiva a existência de contaminação fecal, pode indicar falhas no tratamento.

As bactérias coliformes totais são aeróbias facultativas, não formadoras de esporos, que produzem ácido a partir da fermentação da lactose (lactose positivo) e oxidase-negativo.

As bactérias termotolerantes são Indol a partir de triptofano e/ou hidrolisam o 4-metilumbeliferil- β -D-glucoronideo (MUG) apresentando fluorescência à luz UV a $(44 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ em (21 ± 3) horas. (APHA 2005)

1.2.2 - Pesquisa de enterococos fecais

Enterococcus faecalis são Gram-positivo, com forma cocóide ou ovoide, catalase negativa, possuidores do antígeno D, anaeróbios facultativos, reduzem 2,3,5-trifeniltetrazolium chloride a formazina e hidrolisam esculina a 44 °C em meio específico. Estes microrganismos estão presentes no trato intestinal de animais de sangue quente e consideram-se indicadores de poluição fecal embora também possam ter outras origens (Mendes 2010)

1.2.3 - Pesquisa de *Salmonella* spp

Salmonella spp são organismos Gram-negativo, oxidase negativa, anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, forma bastonada, colónias geralmente com um diâmetro entre 2 mm e 4 mm em meios de cultura sólidos seletivos, capacidade de produção de sulfito de hidrogénio, L-lisina descarboxilase e fermentação de glucose mas geralmente não lactose, não produção de urease.

As bactérias deste grupo são consideradas patogénicas, embora a sua patogenicidade possa variar muito. Os humanos, animais domésticos, gado e animais selvagens são hospedeiros naturais desta bactéria. A excreção destas bactérias pode ser feita durante a fase assintomática e não podem ser eliminadas do ambiente. Sendo que água é um veículo de transmissão destas bactérias é necessária uma monitorização da sua presença ou ausência. (APHA 2005)

1.3 - Indicadores biológicos

Um indicador biológico são espécies que ao serem analisadas refletem o estado ecológico do ecossistema em estudo, podem ser animais ou plantas e podem refletir a existência de um poluente específico no meio aquático

1.3.1 - Quantificação de clorofilas

A concentração da clorofila a é considerado um indicador do estado trófico e a sua determinação permite calcular a atividade fotossintética e a biomassa das algas, uma vez que este é o principal pigmento fotossintético das algas verdes. Os principais produtos da degradação da clorofila a são a feofitina e a feofobidina, estes dois produtos são denominados feopigmentos e a sua relação com a clorofila a é um indicador do estado fisiológico das algas.

2 - Material e métodos

2.1 - Amostragem

As recolhas de amostras de água são efetuadas pelo Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente da Guarda Nacional Republicana (SEPNA) de acordo na norma EN 25667-2, baseadas na ISO 5667-2: 1991. Para o efeito, utilizaram frascos de polietileno transparente e incolor os quais foram previamente esterilizados em autoclave a 121°C, e devidamente identificados. Estes foram transportados até às equipas de recolha, e por estas até ao local de amostragem, onde a recolha foi realizada para que as amostras garantam a assepsia, sejam representativas das características microbiológicas e o volume recolhido seja suficiente para repetir a análise.

Para a recolha de amostras de água em curso de água é necessário:

- Usar luvas estéreis ou desinfetar as mãos;
- Pegar numa zona perto da base do frasco, mergulha-lo na massa de água com a boca virada para baixo até pelo menos 20 cm abaixo da superfície da água;
- Voltar o frasco para cima até que o gargalo esteja voltado contra a corrente;
- Recolher a amostra e fechar o frasco rapidamente antes de retirar da água.

Por fim, as amostras são levadas para o laboratório em arcas térmicas de modo a manter uma temperatura inferior a 4°C e evitar o contacto com a luz direta. Já em laboratório as amostras são guardadas no frigorífico no máximo até 24 horas após a recolha.

2.2 - Análise

2.2.1 - Método de filtração

O método utilizado para a pesquisa e quantificação de microrganismos é a técnica de filtração por membrana, metodologia de referência presente na ISO 9308-1. Esta técnica consiste em filtrar uma determinada quantidade de amostra através de um filtro com uma porosidade de 45µm que retém os microrganismos na sua superfície. Estes filtros são posteriormente colocados na superfície de placas com meios de cultura sólidos e levados a incubar.

A utilização deste método tem como vantagens: uma boa reprodutibilidade, rapidez nos resultados; os filtros podem ser transferidos para diferentes meios de cultura; possibilita o processamento de grandes volumes de amostras o que aumenta a sensibilidade do teste e por último é um método económico.

No entanto, tem como desvantagens: não ser possível filtrar grandes volumes quando as amostras de água são muito saturadas; não permitir a contagem do crescimento bacteriano por este ser demasiado elevado, principalmente, se existirem grandes populações de outras bactérias; e por fim a adsorção aos filtros de metais e fenóis presentes nas amostras, que podem inibir o crescimento bacteriano.

2.2.2 - Detecção e quantificação de coliformes totais, fecais e *E. coli*

A norma aplicada para a deteção e quantificação de coliformes fecais e *E. coli* é 9308-1 e a ISO 9308-1:2000.

Inicialmente é necessário preparar os meios de cultura que vão ser utilizados durante a análise:

- Membrane Lauryl Sulphate Broth + Agar (MLSA)
 - Composição (g/L):
 - Peptona – 39,0
 - Extrato de levedura – 6,0
 - Lactose – 30,0
 - Vermelho de fenol – 0,2
 - Preparação:
 - Dissolver 86.2g em água ultra pura, autoclavar a 121°C durante 15 minutos, como indicado nas instruções do preparado em pó.
 - Deixar arrefecer até +/- 50 °C e dispensar em placas de Petri 60 mm de diâmetro
- Água destilada ultrapura esterilizada em autoclave 15 min a 121 °C
- Solução de Ringer
 - Dissolver uma pastilha em 500ml de água ultra pura e autoclavar a 121°C durante 15 minutos
- Fluorocult – DEV Lactose Peptone Broth (Fluorocult)
 - Dissolver o preparado 72, 2 g do meio num litro de água ultrapura.

- Dispensar 10 ml de solução em tubos de ensaio com um tubo de Duram invertido no interior
- Levar a autoclavar durante 15 minutos a 121°C
- Nutriente agar
 - Dissolver 20 g num litro de água ultrapura e autoclavar a 121°C durante 15 minutos
 - Dispensar em placas de Petri de 90 mm quando a atingir o 50 °C
- Reagente de oxidase
- Reagente de Kovacs

A segunda fase consiste em diluir a amostra se a carga orgânica for muito elevada, é necessário que o resultado se encontre as 20 colónias típicas de coliformes e não ultrapasse as 200 de todos os outros tipos de microrganismos. Durante esta fase é utilizado o método de diluições sucessivas, ou seja, a um tubo adiciona-se 9 ml de solução de Ringer e ao primeiro tubo adicionar 1 ml de amostra. Da diluição anterior retirar 1ml e adicionar aos 9ml de solução de Ringer no tubo seguinte como se pode ver na Fig 1.

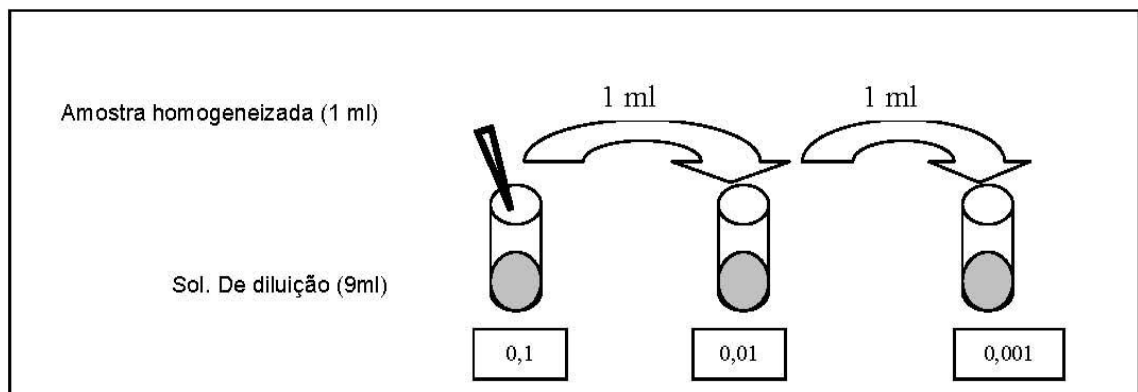


Fig 1 - Técnica das diluições sucessivas

Na terceira fase utiliza-se o método de filtração através de membrana. Este método é descrito na norma portuguesa NP 4346:1998.

Filtra-se o volume adequado ao tipo de amostra que pode variar, neste caso, entre 100 ml e 0.001ml, através do filtro de membrana tendo o cuidado de fazer pelo menos 3 filtros por amostra.

A quarta fase consiste na incubação das amostras, ou seja, a colocação do filtro na caixa de Petri com MLSA e na colocação na estufa de incubação numa posição

invertida. No caso das bactérias termotolerantes e *E. coli* a $44 \pm 0,5$ °C durante 21 ± 3 horas. No que diz respeito as coliformes totais devem incubar 36 ± 2 °C, durante 21 ± 3 horas.

Após 18 horas, no mínimo, contar todas as colónias típicas, quer totais quer termotolerantes, independentemente do tamanho. As colónias típicas de coliformes termotolerantes e totais apresentam uma coloração amarela e o desenvolvimento da mesma cor no meio por baixo da colónia.

Numa última fase faz-se a repicagem de no mínimo 3 colónias de cada tipo, de forma a ser representativo para fazer os testes de confirmação. Antes dos testes de confirmação deve-se proceder à subcultura das colónias selecionadas, em agar não seletivo e incubar a 36 ± 2 °C, durante 21 ± 3 horas

1. Teste de oxidase: após o período de incubação com uma ansa de platina ou descartável, colocar uma parte da colónia sobre a tira de oxidase que já foi previamente preparada. Considerar uma reação positiva se aparecer uma cor violeta escura dentro de 30 segundos.

Oxidase-Positivo- Não são bactérias coliformes.

Oxidase-negativo- Bactérias Coliformes.

2. Fermentação da Lactose com produção de gás: as colónias oxidase negativas deverão ser incubadas no meio de cultura Fluorocult DEV (cor violeta) e incubadas a 36 ± 2 °C e $44 \pm 0,5$ °C durante 21 ± 3 horas.

Reação negativa- Não se verifica alteração no meio de cultura

Reação positiva - Mudança de cor do meio de cultura para amarelo e produção de gás

3. Utilização de MUG (Fluorescência): colocar os tubos que apresentaram coloração positiva no meio de cultura Fluorocult na camara UV e ligar a lâmpada no comprimento de onda 366 nm durante 2 a 5 segundos e fazer a leitura

Reação negativa – sem alteração visível do meio

Reação positiva - Visível cor azul-esverdeado e emissão de fluorescência

4. Teste de Indol: este teste é baseado numa reação enzimática onde o triptofano é hidrolisado resultando Indol, ácido pirúvico e amónia pela acção da enzima triptofano-hidrólase. O Indol é detetado através da utilização de reagente de Kovacs que forma um anel cor carmim/ cereja.

Reação negativa- Sem alteração visível de cor

Reação positiva - Anel com coloração rosa carmim/cereja

Tabela 1 - reações aos diferentes meios de cultura pelos coliformes totais, termotolerantes ou *E. coli*

Reação		Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	<i>E.coli</i>
Membrane Lauryl Sulphate Broth Agar (Colónia e meio de cultura de cor amarela)		+	+	+
Oxidase		-	-	-
Fermentação da lactose Fluorocult DEV	Meio cultura muda Para amarelo	+	+	+
	Produção gás	+	+	+
Fluorescência				+/-
Indol				+/-

O cálculo do resultado é obtido utilizando a fórmula que se encontra na NP 4346:1998 e os resultados são apresentados em unidades formadoras de colónias (UFC). É de realçar que os relatórios finais têm que ter referência à norma e relatar alguma ocorrência observada durante a análise e a classificação da qualidade da água, de acordo com a legislação e em função da sua utilização.

2.2.3 - Detecção e quantificação de enterococos intestinais

Como nos coliformes a primeira fase de análise passa por preparar os meios de cultura e reagentes:

- Meio Slanetz e Bartley
 - Composição (g/l):
 - Triptose – 20,0
 - Extrato de levedura – 5,0
 - D(+)Glucose – 2,0
 - Hidrogenofosfato de di-potássio – 4,0
 - Azida de sódio – 0,4
 - 2,3,5-tripheniltetrazolium chloride – 0,1
 - Agar – 10,0
 - Preparação: dissolver 41,4g num litro de água ultrapura. Esterilizar durante 20 minutos numa corrente de vapor ou utilizar o micro-ondas durante 9 minutos. Deixar arrefecer e plaquear rapidamente.
- Agar de canamicina-esculina-azida para microbiologia
 - Composição (g/l)
 - Peptona de caseína – 20,0
 - Extrato de levedura – 5,0
 - Cloreto de sódio – 5,0
 - Citrato de sódio – 1,0
 - Azida de sódio – 0,15
 - Sulfato de canamicina – 0,02
 - Preparação: dissolver 46,5g num litro de água ultrapura. Esterilizar em autoclave durante 15 minutos a 121 °C não sobreaquecendo e plaquear rapidamente

Quanto às restantes fases são muito semelhantes às anteriormente referidas na deteção e quantificação de coliformes. Apenas mudando a temperatura e o tempo de incubação que deveriam ser 36 ± 2 °C, e 44 ± 4 horas respetivamente. No que diz respeito ao aspeto das colónias típicas de enterococos intestinais têm uma coloração vermelha, castanha ou rosa no centro ou em toda a colónia.

A última fase de análise, a confirmação, consiste em colocar a membrana numa caixa de Petri com Agar de canamicina-esculina-azida para microbiologia e leva-se a incubar durante 2 horas a 44 ± 0.5 °C. Considera-se com resultado positivo todas as colónias que apresentem no meio circundante uma coloração negra ou castanha. Essas colónias podem ser contadas como enterococos intestinais.

A contagem e apresentação dos resultados é feita da mesma forma que a análise de coliformes

2.2.4 - Detecção e quantificação de *salmonella spp*

- Água peptonada tamponada (Buffered peptone water)
 - Composição (g/l):
 - Peptona – 10,0
 - Cloreto de sódio – 5,0
 - Fosfato dissódico – 3,5
 - Dihidrogenofosfato de potássio – 1,5
 - Preparação: dissolver 20g num litro de água ultrapura. Levar a autoclavar a 121°C durante 15 minutos. Deixar arrefecer e dispensar 50ml em copos graduados com tampa estéreis.
- Rappaport-Vassiliadis broth (RV)
 - Composição (g/l):
 - Peptona de soja – 4,5
 - Cloreto de sódio – 7,2
 - Dihidrogenofosfato de potássio – 1,26
 - Hidrogenofosfato de di-potássio – 0,18
 - Cloreto de magnésio (anidro) – 13,58
 - Verde de malaquite – 0,036
 - Preparação: Suspender 41,8 g num litro de água ultrapura, dissolver. Dispensar 10 ml em tubos de ensaio e rolar. Autoclavar 15 min a 115 °C
- Xylose Lysine Deoxycholate agar (XLD agar)
 - Composição (g/l):
 - Extrato de levedura – 3,0
 - L-lisina HCl – 5,0
 - Xilose – 3,75
 - Lactose – 7,5

- Sacarose – 7,5
 - Desoxicolato de sódio – 1,0
 - Cloreto de sódio – 5,0
 - Tioissulfato de sódio – 6,8
 - Citrato de amónio férrico – 0,8
 - Vermelho de fenol – 0,08
 - Agar – 12,5
- Preparação: dissolver 53 g num litro de água ultrapura e aquecer com agitação até entrar em ebulição, sem deixar aquecer demasiado nem autoclavar. Dispensar em placas de 90mm
-
- Brilliant Green Agar (modified) (BGA)
 - Composição (g/l):
 - “Lab-Lemco” powder – 5,0
 - Peptona – 10,0
 - Extrato de levedura – 3,0
 - Hidrogenofosfato de dissódio – 1,0
 - Dihidrogenofosfato de sódio – 0,6
 - Lactose – 10,0
 - Sacarose – 10,0
 - Vermelho de fenol – 0,09
 - Verde brilhante – 0,0047
 - Agar – 12,0
 - Preparação: adicionar 52 g num litro de água aquecendo e agitando ocasionalmente até dissolver, não autoclavar e dispensar em placas de Petri de 90 ml
-
- Salmonella sulpha-mandelate supplement (500ml de meio BGA)
 - Composição:
 - Sulfacetamida de sódio – 500 mg
 - Mandelato de sódio – 125 mg
 - Preparação: dissolver em 5 ml de água ultrapura estéril e adicionar ao meio BGA e misturar bem.
 - Água destilada ultrapura esterilizada em autoclave 15 min a 121 °C.
 - Kligler

- Composição (g/l):
 - Extrato de carne – 3,0
 - Peptona – 20,0
 - Extrato de levedura – 3,0
 - Cloreto de sódio – 5,0
 - Lactose – 10,0
 - Glucose – 1,0
 - Citrato de ferro – 0,3
 - Tiosulfato de sódio – 0,3
 - Vermelho fenol – 0,05
 - Agar – 12 g
- Utilização: indicador de enterobacteriaceas fermentando dois açucares glucose ou lactose existindo a formação de gás e sulfito de hidrogénio
- Lisina
 - Composição (g/l):
 - L-lisina – 5,0
 - Extrato de levedura – 3,0
 - Glucose – 1,0
 - Púrpura bromocresol – 1 ml
 - Utilização: da produção da lisina descarboxilase pela Salmonella e outras Enterobacteriaceae
- Ureia
 - Composição (g/l):
 - Peptona – 1,0
 - Glucose – 1,0
 - Cloreto de sódio – 5,0
 - Fosfato dissódico – 1,2
 - Dihidrogenofosfato de potássio – 0,8
 - Vermelho fenol – 0,012
 - Agar – 15 g
 - Utilização: deteção de algumas enterobacteriaceas e urease Proteus

Durante segunda fase filtra-se a amostra, utilizando o método referido anteriormente, 1000ml de amostra ou volumes mais pequenos se a amostra for muito poluída ou tiver muitos sedimentos.

A fase seguinte, a terceira, consiste na colocação da membrana filtrante num meio de enriquecimento, água peptonada tamponada durante 16 a 20 horas a 36 ± 2 °C a incubar. Posteriormente, recolhe-se 1ml, com uma pipeta esterilizada, da cultura obtida anteriormente para um tubo com 9 ml de meio de cultura líquido seletivo Rappaport-Vassiliadis e levar a incubar a $42 \pm 0,5$ °C durante 18 a 24 horas. Por fim utilizar uma ansa estéril para inocular por espalhamento a superfície os meios de cultura sólidos seletivos: XLD e BGA para deteção de colónias presuntivas de *Salmonella* que devem incubar ambos a 36 ± 2 °C durante 24 horas.

No final das 24 horas deve-se então proceder à contagem das colónias típicas que no meio XLD são translúcidas (podem aparecer vermelhas, devido à cor do meio de cultura), apresentam margens translúcidas ou amarelas e geralmente um centro preto enquanto no BGA as colónias são vermelhas ou ligeiramente brancas rosadas opacas rodeadas de um ambiente vermelho.

A última fase consiste na confirmação das colónias, ou seja, repicar pelo menos 3 colónias típicas de cada meio de cultura e realizar os testes bioquímicos, todos têm as mesmas condições de incubação 36 ± 2 °C durante 24 horas:

1. Ureia
2. Kligler
3. Lisina

Tabela 2- reações típicas de salmonelas aos diferentes testes bioquímicos

Teste bioquímico	Reação típica de salmonella
Kligler	Rampa vermelha (alcalina), com formação de gás e o fundo amarelo (ácido), com formação de sulfureto de hidrogénio (enegrecimento da gelose).
Ureia	Reação negativa ou seja sem alteração da cor para rosa ou carmim
Lisina	Apresenta cor purpura

A apresentação dos resultados da análise de salmonella é baseada nos resultados dos testes bioquímicos. É classificada ausência ou presença de salmonella spp.. Basta um dos três testes dar negativo para ser considerada a ausência de *Salmonella spp.*

ou seja, para ser considerada presente é necessário que os três testes bioquímicos apresentem as reações típicas positivas para salmonella.

2.2.5 - Quantificação de clorofilas e feopigmentos

O procedimento utilizado para a análise de clorofilas e feopigmentos foi baseado na norma portuguesa 4327:1996. Utiliza-se o mesmo procedimento para a recolha de amostras de água para a microbiologia mas neste caso os frascos não necessitam de ser esterilizados.

A primeira fase consiste na filtração através de uma membrana de acetato de celulose e se se pretender conservar os filtros estes devem ser secos num exsiccador e congelados a -20°C até um mês.

A segunda fase consiste na extração, ou seja, macera-se o filtro em 10 ml de acetona a 90% e coloca-se em tubo para centrifugadora, tapados com papel de alumínio. Vão ao frigorífico a 4°C por 8 a 20 horas. Seguidamente prossegue-se a centrifugação durante 10 a 15 minutos entre 3000 a 4000 rpm.

Por fim, prossegue-se a leitura da absorvência no espectrómetro ajustando o zero à solução de referência (filtro de celulose macerado em 10ml acetona a 90% e centrifugado. A absorvência do extrato é lida a 665 nm e 750nm. A absorvência a 750 nm não deve exceder os 0.010 para uma célula de percurso ótico de 1 cm. Após esta primeira leitura adiciona-se 0.1 ml de ácido clorídrico, tapa-se a célula e homogeniza-se bem. Após dois minutos efetua-se nova leitura a 750 e 665 nm.

Os resultados são apresentados utilizando as fórmulas contidas na norma portuguesa anteriormente referida

2.3 - Controlo de qualidade

O protocolo referente ao controlo de qualidade no setor da microbiologia, pretende descrever a forma como a limpeza dos materiais e equipamentos feita é realizada, o controlo interno de qualidade, os critérios de aceitação dos resultados e dos equipamentos. Neste relatório será feito uma breve referência a estes processos.

1. Limpeza e Higiene das Áreas de Trabalho e Equipamento
2. Controlo Ambiental
3. Controlo do ar
4. Controlo de superfícies

5. Controlo de Qualidade de Meios de Cultura, Soluções de Diluição, Reagentes e Água utilizada na sua preparação
6. Preparação de meios de cultura
7. Esterilização
8. Controlo de Qualidade Interno
 - a. Controlo dos Resultados Analíticos
 - b. Cartas de Controlo
 - c. Critérios de aceitação
9. Equipamentos
 - a. Periodicidade da limpeza e desinfeção
 - b. Critério de Aceitação para os Equipamentos

3 - Discussão

O estágio na ARH do Norte, foi uma oportunidade excepcional para perceber o que é ter um emprego e uma função, compreender as relações hierárquicas e em parte ter um vislumbre das relações interpessoais em ambiente de trabalho e da dificuldade que é criar uma equipa com capacidade de trabalho e interajuda em condições difíceis.

Tal como toda a administração pública, a ARH do Norte atravessa um período de dificuldades no que diz respeito ao acesso aos recursos, quer humanos, quer materiais. Julgo que foi principalmente por estas razões que eu acabei por ter a oportunidade de durante o estágio ter desempenhado praticamente todas as tarefas existentes dentro do laboratório. Desde a limpeza dos equipamentos à da envolvente, passando pela reparação de equipamentos e todo o tipo de análises realizados no laboratório da ARH do Norte.

Este estágio teve a duração de 9 meses, durante os quais fui tratada como um quadro, tendo tarefas atribuídas e horários para cumprir. Representou em termos práticos um “primeiro emprego” onde inicialmente senti a diferença entre estudar e trabalhar, mesmo quando para desempenhar as tarefas atribuídas tinha que estudar para garantir que depois o desempenho era o correto e tudo correria bem.

Com o decorrer do estágio e com o aumento de confiança e responsabilidades depositadas em mim, tudo passou a ser fácil, mais rapidamente resolvido e os constrangimentos inerentes a um orçamento de austeridade eram ultrapassados com a ajuda de todos. Mesmo quando a redução de custos levou à alteração de protocolos de modo a utilizar normas cujos reagente e processos poderiam levar a uma poupança de recursos.

O laboratório de microbiologia da ARH do Norte não está certificado por impossibilidade de o fazer no edifício atual, que é mesmo o único impedimento para que tal aconteça uma vez que cumpre com todos os outros requisitos. O grau de exigência e os cumprimentos de todos os procedimentos das normas são garantidos por toda a equipa e pelo compromisso com as garantias de qualidade de todo o serviço público prestado.

No desenrolar do trabalho foi sempre possível a participação em todas as auditorias a que o laboratório está sujeito bem como os ensaios interlaboratoriais onde os resultados foram bons.

II PARTE

Contributo para a definição do valor dos serviços de ecossistemas na bacia hidrográfica do rio Tâmega: efeito da contaminação por nitratos

1 - Introdução

1.1 - Serviços de ecossistema

Os serviços de ecossistema surgiram numa tentativa de enfatizar a dependência da sociedade nos sistemas naturais através do enquadramento de preocupações ecológicas em modelos económicos e desta forma chamar a atenção do interesse público para a conservação da biodiversidade (Robert Costanza 1997).

Foi no início da década de 80, do século XX, que surgiu a primeira ideia do conceito de serviço de ecossistema, como uma ligação entre as ciências naturais e sociais (Gómez-Baggethun, de Groot et al. 2010) mas só passada uma década, com a criação da disciplina “economia-ecológica” por Costanza and Patten 1995 é que este conceito se difundiu. Uma série de conceitos, métodos e casos de estudo, baseados nas relações entre os sistemas ecológicos e económicos, surgiram desde então.

O “Millennium Ecosystem Assessment” (MEA) (Island Press 2005) colocou os serviços de ecossistema em destaque e a partir de então a literatura sobre o assunto cresceu exponencialmente.

Em apenas três décadas várias funções dos ecossistemas foram transformadas em serviços, foi-lhes atribuído um valor monetário e foram incorporados em mercados e em mecanismos de pagamento. Neste processo os serviços de ecossistemas ultrapassaram as fronteiras dos meios académicos e chegaram aos setores governamentais, privados, financeiros com e sem fins lucrativos. (Alcamo 2003)

Os diferentes conceitos de serviços de ecossistema e de serviços naturais podem ajudar a reconhecer certos benefícios fornecidos pela natureza. A manutenção dos *stocks* destes serviços permite um fornecimento sustentável de capital natural para as gerações futuras, ou seja, promover um bem-estar humano permanente.

A manutenção desses fluxos necessita de uma compreensão do funcionamento dos ecossistemas, de como estes fornecem os serviços, da análise da forma como eles são afetados e de como recuperam das diferentes pressões. (Gómez-Baggethun, de Groot et al. 2010)

Seguindo os avanços académicos presentes no MEA surgiu o estudo “The economics of ecosystems and biodiversity (TEEB) ” em 2010 (TEEB 2010) onde referia os

principais impactes económicos da perda de biodiversidade numa escala global definindo 4 grandes áreas problemáticas:

- Políticas de administração nacionais e regionais;
- Redução da pobreza;
- Setor de negócios;
- Pessoas e comunidades.

Ambos os estudos apresentam modelos de serviços de ecossistema, onde as ciências naturais surgem do lado esquerdo, enquanto as ciências sociais e económicas aparecem do lado direito. O diagrama apresentado pelo MEA (Fig 2) enfatiza todos os componentes ecológicos e de bem-estar humano, ao utilizar setas de diferentes larguras para sugerir a importância dos vínculos entre estes componentes. Já o diagrama do TEEB (Fig 3) coloca os serviços de ecossistema entre os sistemas naturais e humanos, identificando os benefícios para as pessoas dos serviços e bens fornecidos pelos ecossistemas, separando-os do seu valor. Este também mostra, claramente, que os serviços de ecossistemas provêm de uma estrutura ecológica, processos e da sua função no ecossistema. O serviço de ecossistema é o benefício que as pessoas retiram do ecossistema (Favan Sukhdev and Bishop 2010).



Fig 2- diagrama de relação entre os serviços de ecossistema e o bem-estar humano (MEA adaptado (Alcamo 2003))

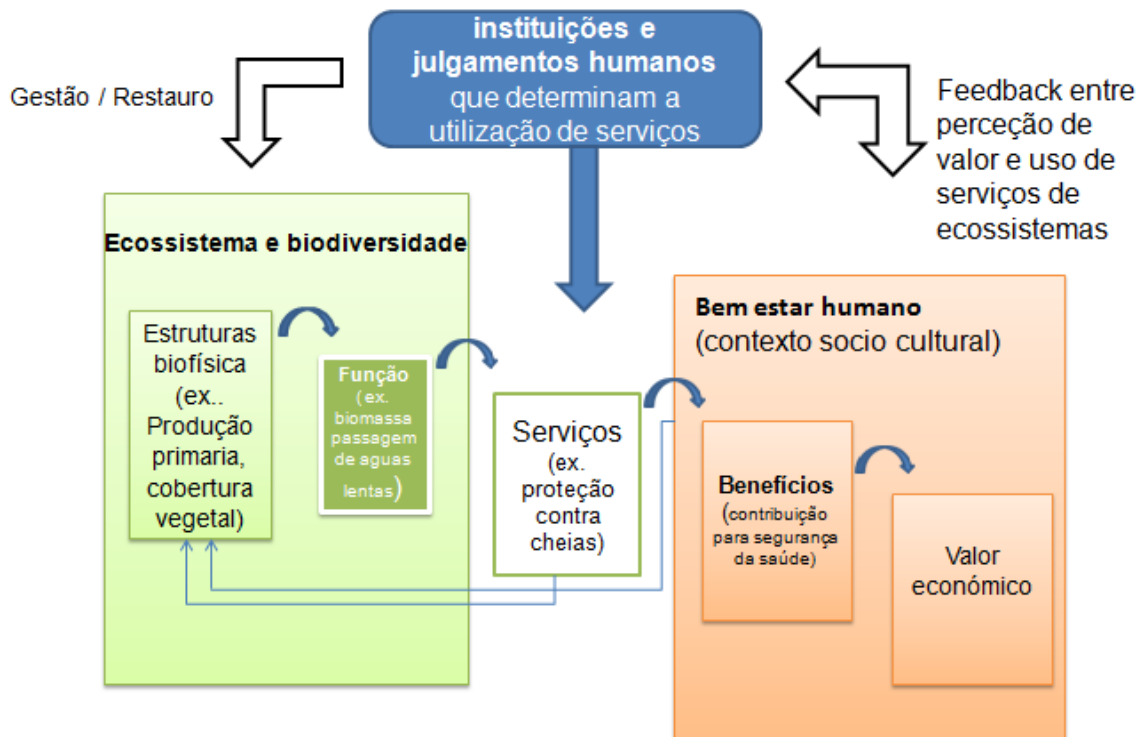


Fig 3 - diagrama funcionamento dos serviços de ecossistema e bens estar humanos TEEB adaptado (TEEB 2010)

Estes serviços podem ser:

- De aprovisionamento de bens como água ou alimentos;
- De regulação como qualidade da água ou das cheias;
- Imateriais (culturais) relacionados com práticas espirituais, recreativas ou estéticas;
- De suporte, para garantir a estrutura necessária para o fornecimento de outros serviços.

Estes serviços são assegurados pelo funcionamento dos ecossistemas que dependem fortemente da biodiversidade. O homem sempre usufruiu e dependeu dos serviços de ecossistema, no entanto, tem vindo a acelerar a transformação dos ecossistemas o que leva a uma redução dos serviços causando um efeito negativo no ser humano. Qualquer serviço de ecossistema depende do estado do ecossistema que, por sua vez, depende da gestão que fazemos dele. O gestor do ecossistema toma as suas decisões em função daquilo que tem preço como, por exemplo, produtos extraídos do ecossistema ou fatores de produção para gerir o ecossistema.

1.2 - Serviços de ecossistemas hídricos

Com o aumento da procura de água, em quantidade e com boa qualidade, tornou-se necessária a implementação de medidas, para a gestão, prevenção e proteção da mesma. Sendo a água um bem essencial ao bem-estar humano é necessário que seja realizada uma gestão muito eficiente dos recursos. Juntamente com medidas de conservação da água deveremos manter uma visão baseada no mercado, para poder aumentar a produtividade da mesma. O principal desafio, é equilibrar estas necessidades competitivas, adquirir apoios institucionais e financeiros necessários, aplicar as tecnologias, processos e ferramentas existentes de forma a aumentar a produtividade da água como um bem geral para a sociedade (Brito 2009).

Durante os dois últimos séculos, com o aumento da população humana, o rápido desenvolvimento económico e social tem levado a um aumento dos serviços de abastecimento de água. No seu estado natural, a água varia muito de disponibilidade ao longo do tempo e do espaço. Para responder a este problema foram construídas vários tipos de equipamentos como barragens, canais de irrigação, ou sistemas de drenagens de zonas húmidas para o controle de cheias. Todos estes sistemas têm como função transformar o hidrograma de forma a melhor satisfazer as necessidades humanas.

Os serviços dos ecossistemas são os benefícios fornecidos às pessoas, direta e indiretamente, pelos ecossistemas e pela biodiversidade. Segundo o MEA, a água doce é um serviço de fornecimento, uma vez que se refere a água para uso doméstico, irrigação, geração de energia e transporte. No entanto, a água doce, pertence ao ciclo hidrológico sendo a base de sustentação dos ecossistemas aquáticos interiores como rios, lagos e zonas húmidas. Estes ecossistemas fornecem serviços recreativos, de regulamentação e de suporte que contribuem direta e indiretamente para o bem-estar humano. Estes sistemas de água doce também desempenham um papel fundamental na manutenção de outros ecossistemas, como estuários que podem fornecer outro tipo de serviços quer aos habitantes locais quer a turistas(Alcamo 2003).

No que diz respeito aos sistemas de águas interiores superficiais portuguesas, o MEA relativamente a Portugal, revelou que os recursos hídricos existentes são suficientes

para satisfazer as necessidades de consumo atuais. No entanto, é necessário ter em conta as diferenças espaciais e temporais da distribuição deste recurso. É de salientar que os ecossistemas de águas interiores superficiais são de extrema importância e vulneráveis às ações antropogénicas. A disponibilidade de água está diretamente relacionada com o consumo de água pela agricultura que até à data da publicação desta avaliação correspondia a 3/4 da captação anual. Muitas das pressões exercidas sobre estes ecossistemas ainda estão por resolver, uma vez que estes não estão preparados para absorver a carga de poluentes libertadas durante a maior parte do ano, principalmente quando os caudais estão mais reduzidos (Brito 2009) .

1.3 - Qualidade da Água

Efluentes derivados de campos agrícolas, novas áreas urbanas e industrializadas e a desflorestação levaram a um aumento de nutrientes e poluentes em ambientes aquáticos (Carvalho, Cortes et al. 2011).

Com o aumento da procura de água, em quantidade e com boa qualidade, tornou-se necessária a implementação de medidas, a nível europeu, para a gestão, proteção e prevenção da mesma. Desta forma surgiu a DQA (DQA 2000), onde se define a exigência da recuperação da qualidade da água, a manutenção de condições de referência e padrões de condições pristinas, em determinados espaços hídricos, e a preservação das suas funções ecológicas. Objetivos subjacentes a duas orientações simples e claras concretizadas na DQA que são: ser “proibido” deteriorar a qualidade ecológica e serem desenvolvidos todos os esforços para proteger e aumentar a qualidade ecológica das massas de água (DQA 2000).

A qualidade da água pode ser definida através de uma caracterização das comunidades existentes no meio aquático e ou, um conjunto de fatores físico-químicos

1.3.1 - Azoto

O azoto (N) é um nutriente essencial para o crescimento das plantas e a maior parte dos ambientes seminaturais são limitados por este (Patrick Durand 2011) . O aumento da quantidade de azoto nos últimos 70 anos levou a alterações adversas no ciclo biogeoquímico e na biodiversidade levando à eutrofização e acidificação, processos que, atualmente, estão bem estudados (Spence and Jordan 2013)

Embora nas últimas décadas as emissões de azoto amoniacal na agricultura tenham diminuído o seu declínio tem sido devidamente avaliado e estudado nos diferentes setores.

Quase todas as atividades humanas podem provocar impactes nos ecossistemas e nos sistemas aquáticos. A qualidade da água é influenciada por fontes de poluição diretas ou difusas provenientes de populações urbanas, rurais, emissões industriais ou agricultura.

As principais fontes de contaminação com azoto são:

Poluição direta- descargas de estações de tratamento de água residual, indústrias e aquaculturas;

Poluição difusa – deposição atmosférica, perdas na agricultura.

O azoto é um elemento essencial à vida sofrendo vários processos de transformação, maioritariamente mediados por microrganismos, ao longo de um ciclo biogeoquímico.

1.3.2 - Ciclo do azoto

O azoto é um elemento fundamental para a maioria dos seres vivos no planeta, uma vez que este elemento está incorporado nas proteínas (aminoácidos) e nas bases dos ácidos nucleicos (base orgânica nitrogenada) e nas plantas é um componente

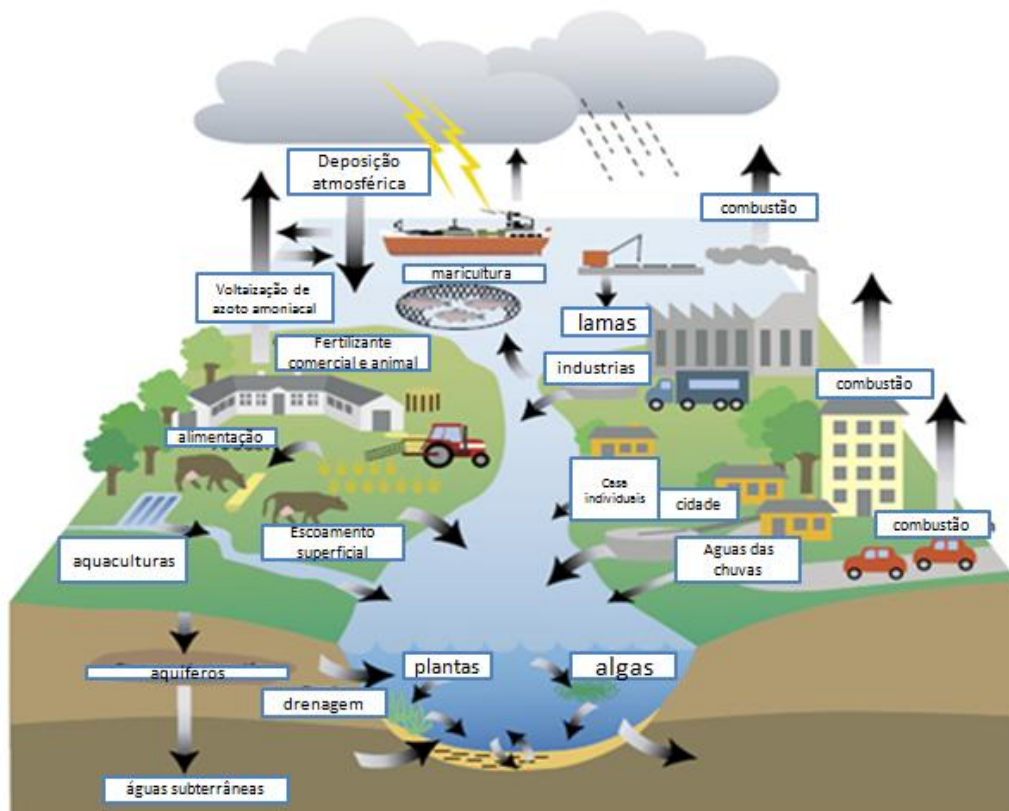


Fig 4 - ciclo do azoto aquático adaptado de *Ærtebjerg et al., 2003*

fundamental para as moléculas de clorofilas. É o maior constituinte da atmosfera na forma de N_2 , que é muito pouco reativa e inutilizável pelas plantas. Por esta razão, são

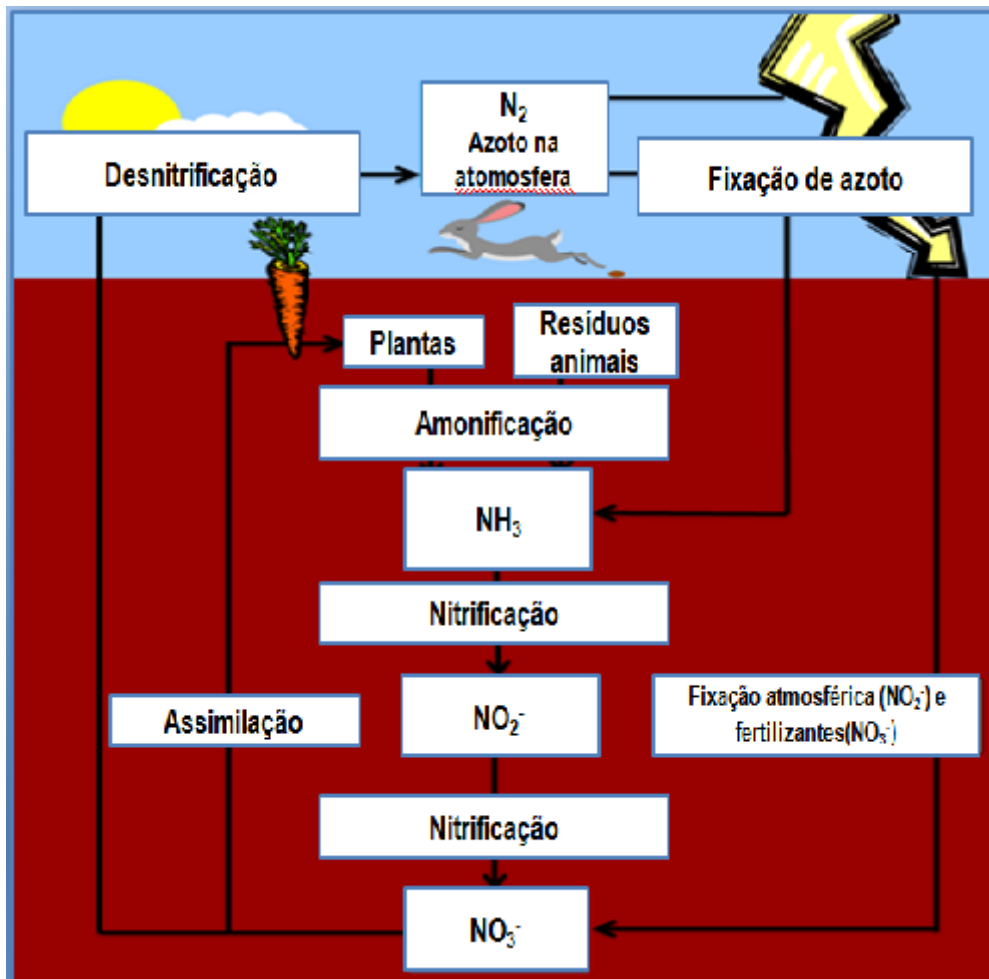


Fig 5 - ciclo do azoto com as suas formas de armazenamento e transformações adaptado de http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_cycle#mediaviewer/File:The_Nitrogen_Cycle.png

necessários vários processos de fixação de azoto e transformação deste em formas utilizáveis pelas plantas (azoto amoniacal ou nitrato). Uma maior ou menor existência deste elemento na sua forma reativa torna-se limitante para o crescimento das plantas. É de realçar que o ciclo do azoto é essencial à vida saudável dos ecossistemas.

No ambiente, o azoto está presente em variadas formas orgânicas, como a azoto amoniacal, o nitrato, o nitrito e o óxido nítrico e como inorgânico no azoto gasoso. As formas orgânicas do azoto podem ser encontradas nos seres vivos ou em alguns produtos da matéria orgânica em decomposição. O ciclo do azoto consiste na

transformação de uma forma de azoto noutra, grande parte destes processos são ajudados por microrganismos

O azoto é um elemento que sofre diferentes transformações ao longo do seu ciclo biogeoquímico, e estas podem ser realizadas por processos biológicos ou físicos. Os principais processos que estão presentes neste ciclo são: fixação, mineralização, nitrificação e desnitrificação (Patrick Durand 2011).

Como referido anteriormente, o azoto atmosférico necessita de ser fixado e transformado numa forma orgânica para ser assimilado pelas plantas. Alguma desta fixação pode ocorrer durante um relâmpago, mas a maior parte é fixado mediante bactérias que são capazes de combinar o N_2 com hidrogénio e dar origem ao azoto amoniacal que excretam como produto final, alguns destes organismos vivem em relações simbióticas ou mutualistas com as plantas em troca de hidratos de carbono. Esta relação permite as plantas conseguirem a quantidade de azoto necessário em solos que são mais pobres em produtos azotados (Grizzetti 2008).

Quanto a assimilação é feita nas plantas pelas raízes, na forma de azoto amoniacal ou nitrato, nos animais é possível seguir o resto da cadeia alimentar e encontrar uma alimentação baseada em plantas.

Outro processo fundamental no ciclo do azoto é a mineralização, ou seja, quando uma planta ou animal morre liberta azoto em forma de azoto orgânico que é transformado por bactérias ou fungos em azoto amoniacal.

A nitrificação é a oxidação do azoto amoniacal que resulta em nitritos, este processo é mediado por um grupo de bactérias. Outro grupo de microrganismos é responsável por oxidar os nitritos em nitratos. É de realçar que estas duas formas são muito solúveis e rapidamente entram nas águas subterrâneas, podendo provocar graves problemas ao nível de saúde pública, se forem utilizadas para consumo ou provocar eutrofização pondo em risco a saúde do ecossistema.

A última fase deste ciclo é a desnitrificação, onde bactérias desnitrificantes em condições anaeróbias reduzem nitratos em azoto gasoso durante a respiração.

As diretivas quadro referentes aos serviços de ecossistema têm aparecido como forma de capturar em larga escala os efeitos das decisões políticas ou a avaliação das mudanças de utilização de solo para mostrar, de forma mais global, os efeitos dos

impactes ambientais e o retorno que os seres humanos podem ter como benefício. No entanto, o rápido desenvolvimento destas diretivas refere-se mais à conceptualização no que diz respeito aos serviços de ecossistema. Os dados necessários para os identificar, não combinam propriamente com os dados experimentais existentes e as suas ligações aos processos ecológicos ainda não estão bem definidas. A análise de novas situações normalmente baseadas em pareceres de peritos ou em suposições, carecem sempre de apoio bibliográfico. Quando analisada com minúcia a literatura é bastante mais complexa mesmo em situações em que se anuncia a sua simplicidade. É uma necessidade urgente simplificar estas relações entre os processos ecológicos e os serviços de ecossistema (Benis Egoh 2012).

Os principais impactos causados pelos mecanismos do azoto são a eutrofização, acidificação e/ou a toxicidade direta.

A eutrofização acontece quando em ambientes oligotróficos existe um excesso de nutrientes disponíveis, acima do que acontece naturalmente. O aumento de nutrientes no substrato, principalmente o azoto, leva a um aumento no crescimento das plantas, aumentando conseqüentemente as taxas de atividade no ciclo deste, em ecossistemas aquáticos onde o azoto é normalmente limitante. Este fenómeno leva a alterações na produção primária e acumulação de azoto nos solos que podem contaminar outros solos ou cursos de água por lixiviação, afetando assim os serviços de suporte como, por exemplo, a relação de competição entre espécies, desequilíbrio de nutrientes ou saturação de azoto nos ecossistemas. (Jones, Provins et al. 2014) Estas alterações têm implicações no funcionamento de outros tipos de serviços de ecossistema como os de provisão, regulação e culturais.

O azoto também contribui para a acidificação dos cursos de água doce. Inicialmente este fenómeno era associado a elevadas concentrações de enxofre, no entanto, na Europa as deposições deste elemento foram diminuindo e os produtos azotados foram tendo uma maior relevância. No que diz respeito à acidificação dos meios aquáticos o maior contribuinte para este fenómeno são os nitratos resultantes da lixiviação.

No meio aquático, a acidificação pode ser tóxica quando o pH do meio ultrapassa o limiar de sobrevivência das espécies existentes no ecossistema, pode ainda aumentar a mobilização de iões tóxicos afetando os serviços de suporte. Os serviços de suporte, podem também ser afetados através da diminuição do pH diminuindo as taxas de outros ciclos biogeoquímicos e alterando a decomposição da matéria orgânica. Os

serviços culturais podem também ser afetados uma vez que a diminuição da variedade de espécies quer de peixes quer de plantas pode ser alterada.

No que diz respeito à toxicidade direta, ela é maioritariamente provocada pelo azoto na sua forma gasosa, se a exposição for crónica. No entanto, o azoto amoniacal em elevadas concentrações pode também ser tóxico, afetando o crescimento de plantas, tendo um impacto maior nos serviços de aprovisionamento. Como efeitos indiretos, tem a alteração da composição de espécies e dos ciclos biogeoquímicos, que conseqüentemente tem efeitos nos serviços de regulação e culturais. Pelo contrário, a diminuição no crescimento de plantas pode resultar numa maior quantidade de água disponível.

Todos estes mecanismos de impacte provocam um efeito nos serviços de ecossistema.

1.4 - Caracterização da bacia hidrográfica Rio Tâmega

O rio Tâmega pertence a região norte de Portugal Continental sendo o afluente com maior extensão e caudal do rio Douro. Este curso de água é o principal na sub-bacia do Tâmega e passa por 18 conselhos, Amarante, Baião, Boticas, Cabeceiras de Basto, Celorico de Basto, Chaves, Fafe, Felgueiras, Lousada, Marco de Canaveses, Mondim de Basto, Montalegre, Penafiel, Ribeira de Pena, Valpaços, Vieira do Minho, Vila Pouca de Aguiar e Vila Real (PGRH 3).

O rio Tâmega nasce na Serra de S. Mamede em Ourense, Espanha entra em Portugal através de Chaves ocupando (em território português) uma área de 2.646 km², percorrendo 150 Km até desaguar no rio Douro na zona de Entre-Os-Rios. Tem como afluentes principais os rios Ovelha ,Olo, Louredo, Avelames e Cabril na margem esquerda e Odres, Veade, Ouro, Beça e Terva na margem direita. (PGRH 3).

Quanto a geomorfologia, observando a carta litológica, o rio Tâmega é principalmente constituído por granitos e afins (68%), xistos (30%) e também quartezitos. Os granitos dividem-se em duas categorias diferentes segundo a sua génese, granitos hercínicos de génese mesocrustal e granitos hercínicos de génese crustal profunda. Os primeiros encontram-se principalmente na região da Senhora da Graça, Paradaça, Vila Real e de Cavez e os segundos em Amarante e Celorico de Bastos. Para além destas tipologias ainda podemos encontrar alguns tufos, vulcânicos, filióes e massas aplíticas e filióes de quartzo(Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães).

A sub-bacia do Tâmega tem uma área total de 3.310 km², sendo que 2.637 km² são em território português. Manifesta uma forma retangular e bastante alongada. A sua altitude média ronda os 600 m, no entanto, este valor é muito influenciado pelos seus afluentes que podem atingir cotas de 1.300 (PGRH 3).. Relativamente ao consumo de água, a região do rio Tâmega, é a segundo maior da RH3, consumindo cerca de 13% do total de água (PGRH 3).

Em 2008 a sub-bacia do Tâmega representava cerca de 14.1 % da área da região hidrográfica do Douro e 14.2% da população residente nessa área, tendo tido um ligeiro aumento de população entre 2001 e 2008 (PGRH 3).

Segundo os PGRH da RH3 a sub-bacia do Tâmega representa cerca de 2.34% de PIB, sendo a segunda sub-bacia com maior número de empresas (1.835). No entanto, no que diz respeito ao turismo e ao contrário das outras sub-bacias, esta teve uma evolução negativa com diminuição no número de estabelecimentos hoteleiros, dormidas e alojamento, o que pode vir a comprometer o turismo na região (PGRH 3).

1.4.1 - Ambiente Biofísico

A área em que se encontra a sub-bacia do Tâmega é de difícil caracterização em termos corológicos, sendo considerada uma zona de transição entre as regiões eurossiberiana e mediterrânica, na qual coexistem elementos característicos de ambas as regiões. Por sua vez, a parte da bacia do Tâmega que se encontra dentro da região eurossiberiana distribui-se por dois superdistritos distintos : o superdistrito miniense litoral, mais a sul, e o superdistrito Alvão-Marão, mais a norte. Relativamente à região mediterrânica e embora esta se possa subdividir em vários sectores diferentes, aquele no qual se encaixa a restante área da sub-bacia do Tâmega é o sector orensano-sanabriense) (Fridão 2009).

Devido a estas características particulares, as comunidades vegetais presentes são muito variadas e importantes a nível local. A maioria dos habitats naturais observados nesta região possui uma elevada importância ecológica e conservacionista. (Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães).

Todavia, a zona de estudo apresenta alterações acentuadas ao nível do seu coberto vegetal, sendo que a sua composição florística e estrutural apresenta desvios importantes às estruturas originais ou potencialmente ocorrentes para esta região (Fridão 2009)

O principal fator da alteração das comunidades vegetais encontra-se relacionado com as atividades humanas desenvolvidas ao longo do vale do Tâmega. Assim, verificou-se uma substituição gradual da floresta autóctone por zonas de pastoreio e de agricultura, e por áreas de florestação intensiva de Pinheiro-bravo e Eucalipto. Destaca-se ainda a ação dos incêndios florestais nos biótopos existentes, que contribui para implantação progressiva de matos e matagais pirofílicos. De salientar também uma importante presença de acácias, as quais se encontram distribuídas por toda a área de estudo, sendo a *Acácia dealbata* a espécie mais frequente. Verificam-se formações importantes desta espécie geralmente junto das linhas de água. Alguns matagais de *Acácia dealbata* encontram-se contíguos à galeria ripícola, provocando, por vezes, algumas descontinuidades no mesmo. Destaca-se ainda a presença importante de *Acácia dealbata* nas ínsuas localizadas mais a jusante, as quais vão progressivamente substituindo os salgueiros arbustivos aí presentes. (Fridão 2009). As estruturas originais, ou presumivelmente potenciais, subsistem em pequenas bolsas seriamente ameaçadas. (Fridão 2009)

Na secção da sub-bacia do Tâmega localizada mais a poente (região eurossiberiana) e ainda sob uma forte influência atlântica são típicas as formações de bosques planocaducifólios, estruturalmente dominados por árvores de folha caduca como os carvalhos (*Quercus* spp.), as faias (*Fagus* spp.) os vidoeiros (*Betula* spp.) e os freixos (*Fraxinus* spp.) (Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães).

As características climáticas particulares desta região favorecem a presença de espécies típicas de zonas com influência atlântica, como o carvalho-roble (*Quercus robur*), o vidoeiro (*Betula* spp.), a faia (*Fagus sylvatica*), os tojos e as urzes (*Ulex europaeus*, *Ulex minor*, *Erica ciliaris*, *Erica cinerea* e *Daboecia cantábrica*) (COSTA 1998)

Por seu turno, na região localizada mais para o interior (região mediterrânica) e de características mais continentais, desde que o clima não seja extremamente frio (devido à altitude) ou demasiado seco, observam-se bosques e matagais de árvores e arbustos de folhas planas pequenas, coriáceas e persistentes (esclerófilas) como sejam diferente *Quercus* spp. Do subgénero *Sclerophyllodris* (azinheira - *Quercus rotundifolia*, sobreiro - *Quercus suber* e carrasco - *Quercus coccifera*), a aroeira (*Pistacia lentiscus*), o folhado (*Viburnum tinus*), o zambujeiro (*Olea europaea* var. *sylvestris*), a alfarrobeira (*Ceratonia siliqua*), o espinheiro preto (*Rhamnus oleoides*), o

sanguinho-das-sebes (*Rhamnus alaternus*), a palmeira-das-vassouras (*Chamaerops humilis*), o loureiro (*Laurus nobilis*), o aderno (*Phillyrea latifolia*), o lentisco-bastardo (*Phillyrea angustifolia*), etc (Fridão 2009).

1.4.2 - Vegetação Ripícola

A mata ripícola ou ribeirinha apresenta-se predominantemente contínua ao longo do Vale do Tâmega, e nos troços finais dos seus afluentes, constituindo estruturas muito diversificadas e com ocorrência no estrato superior de espécies como: *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia*, *Salix atrocinerea*, *Salix salvifolia*, *Salix alba*, *Ulmus minor* e *Celtis australis*. (Fridão 2009)

No estrato arbustivo são ainda de destacar a presença de *Salix fragilis*, *Frangula alnus*, *Crataegus monogyna*, *Pyrus cordata*, *Laurus nobilis* (nas zonas mais a jusante), *Rubus ulmifolius*, *Rosa sempervirens*, *Hedera helix*, *Vitis vinifera*, *Sambucus nigra*, etc. O estrato herbáceo é muito variável com *Osmunda regalis*, *Dryopteris* sp., *Potamogeton crispus*, *Festuca duriotagana*, *Juncus effusus*, etc. (Fridão 2009)

1.4.3 - Caracterização Climatológica

A variação regional do clima de Portugal apresenta um forte gradiente Oeste-Leste, resultante da diminuição progressiva da intensidade e frequência de penetração das massas de ar atlânticas para o interior da plataforma continental (Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães)

Em termos gerais, à medida que nos direccionamos para o interior observam-se menores ocorrências de precipitação e maiores amplitudes térmicas, verificando-se invernos mais rigorosos e verões mais quentes. (Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães)

A diminuição da precipitação realiza-se de forma diferente no norte e no sul do país devido à influência que o relevo, mais acentuado no norte, exerce sobre os ventos chuvosos provenientes do oceano (Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães)

A serra do Gerês, a serra da Cabreira e o sistema montanhoso Alvão- Marão constituem uma barreira de condensação muito forte que provoca uma alteração significativa do clima entre o litoral e a região transmontana (Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães).

Numa abordagem mais localizada, em situações de vale, a altitude e a exposição das encostas explicam frequentemente a existência de contrastes climáticos bruscos entre zonas adjacentes (Fridão 2009)

De acordo com Daveau 1985 , a zona em estudo é caracterizada por invernos frescos e verões moderados, ou seja, a temperatura mínima média do mês mais frio está compreendida entre 2°C e 4°C, verificando-se entre 10 a 30 dias por ano com temperaturas negativas. A temperatura máxima média do mês mais quente está compreendida entre 23 e 29°C, registando-se 20 a 100 dias por ano com temperaturas máximas superiores a 25°C.

1.4.4 - Temperatura

Devido à distância que separa a área geográfica da sub-bacia do Tâmega do litoral, a temperatura é um dos elementos do clima com maior variação ao longo do ano (Aproveitamentos Hidroelétricos de Gouvães)

De uma maneira geral, verifica-se que a região mais a poente denota uma influência atlântica ainda bastante marcada, traduzindo-se num clima de temperaturas amenas, com pequenas amplitudes térmicas (Fridão 2009).

Na região mais a Nascente, o afastamento em relação ao mar e os obstáculos orográficos, fazem com as influências atlânticas deixem praticamente de se fazer sentir, dando lugar a um clima com características mais continentais (Fridão 2009) A ocorrência de situações extremas de temperatura nesta região é relativamente elevada.

No fundo dos vales mais profundos são de esperar contrastes térmicos muito acentuados, influenciados pela orientação das encostas ao longo das respetivas linhas de água e à maior ou menor penetração da luz solar. Durante o verão, as temperaturas elevadas podem provocar situações de desconforto climático, podendo agravar-se pela sua conjugação com situações de elevada humidade atmosférica. No decorrer dos meses de inverno, os locais com menor exposição solar apresentam maior risco de ocorrência de temperaturas negativas (Aproveitamentos Hidroelétricos de Gouvães)

1.5 - Valoração dos serviços de ecossistemas aquáticos

A valoração dos serviços de ecossistema é controversa uma vez que estes valores têm uma grande importância na opinião pública e influência nas decisões políticas. Identificar o valor de ecossistemas é uma característica de todas as sociedades e comunidades e, por vezes, isto é o suficiente para garantir a sua conservação e o seu uso sustentável, por exemplo, locais com significado cultural ou espiritual.(Diversity 2007)

Demonstrar o valor económico é, geralmente, útil como ferramenta de apoio à decisão de governantes ou gestores, uma vez que analisam os custos e os benefícios de determinado serviço de ecossistema. Assim sendo, para medir ou estimar o valor de um serviço de ecossistema é necessário identificar os vários serviços e os grupos humanos que dele dependem, e traduzir numa escala simplificada os efeitos de cada um dos serviços no bem-estar do homem. Assim, o benefício do serviço é estimado verificando se este cobre o respetivo custo, permitindo, assim, determinar o nível socialmente ótimo (Alcamo 2003; Diversity 2007).

O valor económico, mesmo que não se reflita em captação monetária direta pode ajudar no uso mais eficiente dos recursos naturais e, nestas condições permitir aos gestores públicos tratar das compensações de uma maneira racional de forma a beneficiar o capital natural e a riqueza pública e não a privada (Rudolf S. de Groot 2002).

A valoração dos ecossistemas não significa que todos os serviços de ecossistemas sejam privatizados e comercializados no mercado. Assim, o desafio para quem toma a decisão recai na avaliação de soluções baseadas no mercado que sejam socialmente aceitáveis e que, ao mesmo tempo, sejam efetivas, eficientes e equitativas(Diversity 2007; Bagstad, Semmens *et al.* 2013).

Hoje em dia existem diferentes metodologias para determinar o valor de um determinado serviço de ecossistema. Estes serviços não são transacionáveis no mercado, nem têm um preço, no entanto, tem um valor, ou seja, o efeito sobre o bem-estar de alguém. (Loomis, Kent *et al.* 2000)

Método dos custos de substituição - Tem como base uma estimativa dos custos das obras de engenharia que seriam necessários para garantir o mesmo nível de proteção de pessoas e dos seus bens. (Diversity 2007)

Método das funções dose-resposta - É uma metodologia sempre aplicável a danos ambientais procurando, através de funções dose-resposta, quantificar a relação entre a poluição e um efeito mensurável. Estes métodos devem ser utilizados quando as populações não sabem os efeitos que a poluição causa e, por isso, não tentam melhorar o seu bem-estar ou, quando não há dados suficientes para utilizar um método direto (Diversity 2007).

Método do custo da viagem - Esta abordagem é baseada na população que escolhe o bem recreativo. O princípio subjacente a esta metodologia é que as pessoas gastam dinheiro e tempo a viajar e a usar uma determinada recreação. Existem duas versões deste método. A primeira estima estatisticamente as relações entre o número de visitas ao local e o nível de despesas de viagem dos utilizadores e usa essa relação para estimar o total de serviços, de recreação, fornecidos pelo local a todos os utilizadores. A segunda versão também usa a estatística, mas para analisar quanto e que características específicas influenciam a decisão de ir aquele determinado local e não a outro, inferindo depois qual o valor económico dessas (Rudolf S. de Groot 2002).

Por exemplo em 2003 no Kansas, Dietrich Earnhart and Val (Smith 2003) examinaram os efeitos de um determinado pesticida no lago Clinton. Este lago tem como principal serviço a recreação. Este tipo de pesticida pode aumentar a utilização deste serviço uma vez que mata as algas prejudiciais existentes neste. No entanto, a presença deste pesticida em represas pode causar danos graves a peixes e consequentemente diminuir o uso recreativo. Para quantificar e comparar esses efeitos de compensação, os autores aplicaram o método do custo de viagem em combinação com questões de comportamento contingentes. Os autores realizaram uma pesquisa com os moradores de Lawrence, Kansas quanto à sua utilização do lago Clinton. Recolheram dados sobre os padrões de visitação e características socioeconómicas. Estes somaram o custo do transporte do tempo gasto a chegar ao local e taxas de acesso. Adicionalmente perguntaram se mudariam de destino se a qualidade da água se alterasse. Algumas das mudanças foram descritas como uma diminuição do número

de algas outras como diminuição dos peixes e algumas como uma junção de ambas as opções.

Com este estudo valoraram a média de gasto em cerca de 22 Euros na viagem e que em média cada pessoa tinha visitado o Lago 3 vezes. Uma melhoria na qualidade da água em relação às algas aumentava em média o número de visitas 2.7 vezes, enquanto uma diminuição da qualidade relacionada com os peixes diminuía estas visitas para cerca de metade (Gómez-Baggethun, de Groot *et al.* 2010). A combinação das duas mudanças na qualidade da água levaria a uma diminuição de 40%.

Os autores conduziram uma análise estatística profunda e analisaram as trocas entre estas duas alterações na qualidade da água e concluíram que para cada 1% de diminuição da qualidade relacionada com os peixes os inquiridos exigiam um aumento de 4.7 vezes à da qualidade relacionada com as algas para manter o mesmo nível de divertimento.

Método da transferência de benefícios - O valor económico de um local depende do contexto económico e ecológico do mesmo. (Diversity 2007)

A existência de locais substitutos para o serviço, o poder de compra das pessoas e as suas preferências culturais variam com o contexto local. Desta forma, um mesmo serviço inserido em contextos diferentes pode ter diferentes valores. Daí a grande dificuldade em transferir valores de um determinado contexto para outro. Por sua vez, não é possível levar a cabo um estudo de valoração sempre que é preciso tomar uma decisão sobre um valor, quer por ser muito dispendioso, quer por falta de tempo. Esta desvantagem tem sido utilizada para motivar a não utilização de meios económicos no apoio as decisões de investimento em serviços de ecossistema.

Para resolver a questão anterior foram desenvolvidos novos métodos, sendo um deles o método por transferência de benefícios. Assim, através deste, os valores estimados num determinado contexto, podem ser transferidos de forma controlada, para outro onde seja necessário apoiar uma decisão.

Esta metodologia procura controlar alguns fatores, que podem variar com as mudanças de contexto. Através da escolha de estimativas de valores resultantes de contextos semelhantes aos da decisão. Maximizar a variabilidade dos contextos, permite uma modelação da dependência dos valores relativos ao contexto e desta

forma ajustar valores possibilitando a transferência de valores para outros contextos de forma controlada.(Diversity 2007)

Método da avaliação contingente - Este é um “método de preferência declarada” que permite que uma amostra de pessoas que beneficiam de um determinado recurso, comunique diretamente com os investigadores, por meio de inquéritos, o que estão dispostos a pagar por alguma melhoria na qualidade ambiental (Diversity 2007). Um dos pontos fortes deste método é que ele tanto é capaz de captar valores de uso como valores de não uso. É esta versatilidade que o torna no método mais utilizado. No entanto, esta metodologia encontra o valor que as pessoas estão hipoteticamente disponíveis para pagar em vez do que realmente pagariam (Chamberlain 2012).

Um dos exemplos do impacto da valoração de bens de não uso, na tomada de decisão, é o caso da permissão da confluência de águas tributárias no lago Mono, na Califórnia. Em 1983, uma ordem do supremo tribunal ordenava a reavaliação dos direitos de Los Angeles quanto à utilização de água. Um estudo de avaliação contingente mostrou que as pessoas estavam dispostas a pagar para proteger a fauna piscícola e a avifauna no lago Mono. Estes benefícios excediam, em muito, o custo de reposição de água utilizando outras fontes. Como resultado, a águas da Califórnia, exigiu que fossem incluídos no estudo de impacte ambiental, os valores de não uso na sua análise de realocação da água. Nesta análise os valores de não uso, do ecossistema, foram comparados a dólares para a energia hidroelétrica e benefícios de abastecimento de água. Os direitos a água por Los Angeles foram cortados para metade, permitindo assim a chegada de afluentes ao lago Mono. Esta nova alocação gerou vários benefícios económicos (Mitchell 1993).

E apesar de muitos dos bens ambientais não serem negociados nos mercados, a sua presença ou ausência pode ter um efeito sobre os valores de propriedade. O método da propriedade hedónica aproveita esta ligação. Os preços de terrenos são, normalmente, mais elevados em parcelas que se encontram perto de lagos, rios ou estuários. A paisagem, a navegabilidade ou mesmo as oportunidades de pesca são muito importantes. Através da análise estatística, o valor da parte de terreno que contém esse determinado serviço de ecossistema pode ser isolado. O método permite a existência de um controle para as outras variáveis que influenciam os preços dos terrenos, de modo que qualquer diferença do preço restante é uma medida da disponibilidade de pagar pelo bem ambiental (Mitchell 1993)

1.6 Valorização dos serviços de ecossistema

Para além do problema da valoração de serviços existe também o problema da valorização. Existe uma falha no mercado relacionada com os serviços que tem muito valor mas não têm preço, que impede uma gestão correta dos serviços de ecossistemas. A principal razão desta falha é o facto de os gestores não serem recompensados pelo esforço que fazem para alcançar os níveis adequados do serviço de ecossistema (Stephen C. Farber 2002). A chave para a resolução do problema da valorização é alterar o comportamento humano no que diz respeito à faturação de serviços de ecossistema. Existem várias soluções para este problema:

- Criação de mercados diretos para cada serviço em causa deixando que os preços desses mercados sirvam de guia de decisão para os gestores;
- Venda indireta de serviços em mercados de bens relacionados;
- Políticas públicas, ou seja, o Estado orienta as decisões dos gestores de serviços através de regulamentação, isenções fiscais, impostos, subsídios ou taxas para obter os níveis de serviços de ecossistema pretendidos.

Relativamente à criação de mercados diretos para os serviços de ecossistemas são necessárias várias condições:

- Existência de compradores com interesse em adquirir o serviço ou os bens aos vendedores que tem esse serviços ou bens para vender;
- O montante total que os compradores estão dispostos a pagar pelo serviço tem que ultrapassar o limite mínimo, custos de produção;
- As especificações quantitativas e qualitativas dos serviços têm que ser claras e de fácil verificação, de forma a dar segurança aos consumidores. No caso de bens complexos, como a biodiversidade, ou de difícil verificação física, é complicado corresponder a estas especificações;
- No caso de se pagar pela gestão de um serviço e não por ele em si, tem que existir uma relação clara, determinada e quantificada entre os dois;
- A verificação dos serviços no tempo levanta um obstáculo importante pois há riscos de perda no caso de serviços comprados num espaço de tempo muito longo;

- Tem que haver a possibilidade de excluir aqueles que não pagam, caso contrario ninguém pagaria e seria impossível haver mercado. Esta exclusão não é possível de realizar no caso de bens públicos puros;
- Algumas destas condições envolvem custos de transação que devem ser suportados pelo comprador, pelo vendedor ou por ambos. Estes custos podem anular o excedente referido na segunda alínea anulando completamente a possibilidade de um mercado.

Estas condições ajudam a compreender o porquê de existirem mercados para alguns serviços e para outros não. Apesar de não ser impossível, existe uma grande dificuldade na criação de mercados para certos serviços de ecossistema. Por outro lado, estas dificuldades na criação de mercados podem variar muito no caso do carbono, dos recursos hídricos e da biodiversidade, concedendo-lhe assim vários potenciais de mercado.

Normalmente é necessária a intervenção do Estado para a criação de mercados. São necessários direitos de propriedade bem definidos e respeitados, cabendo ao estado definir estes direitos e garantir que são respeitados (Favan Sukhdev and Bishop 2010)

2 - Metodologia

Com o aumento exponencial de publicações na área dos serviços de ecossistema (Robert Costanza 1997) aumentaram também as divergências entre metodologias e estruturas utilizadas para determinar e classificar os serviços de ecossistema. A diversidade de metodologias existentes varia desde uma simples folha de cálculo a complexos sistemas de *software* (Bagstad, Semmens *et al.* 2013).

As novas ferramentas estão a ser desenvolvidas, de forma a possibilitar análises de serviços de ecossistema que sejam replicáveis e quantificáveis (Bagstad, Semmens *et al.* 2013), de forma a transmitir às partes interessadas segurança e flexibilidade de aplicar os resultados obtidos à tomada de decisões de gestão ou políticas. Embora o objetivo dos grupos que estão a desenvolver estas novas metodologias seja transversal, as suas abordagens são bastante diferentes, podem variar a forma de valoração económica, a representação espaço-temporal ou mesmo a incorporação de modelos biofísicos. (Bagstad, Semmens *et al.* 2013)

Numa versão simplificada, um quadro de conceitos relaciona os sistemas socioeconómicos, por meio dos fluxos de ecossistema e dos fatores de modificadores, quer como consequência da utilização do serviço ou, indiretamente pelo impacte causado pelo ser humano em geral. As setas indicam as ligações entre os elementos do quadro, para mais detalhe podem ser acrescentados elementos mais específicos e mais ligações através das setas.

As funções do ecossistema são definidas como a capacidade ou potencial de oferecer o serviço de ecossistema.

A utilização de mapas e modelos de serviços de ecossistema tem vindo a aumentar uma vez que estes fornecem uma visão global da distribuição espacial de vários serviços ao mesmo tempo no mesmo espaço.

2.1 - Classificação dos serviços de ecossistema

Os quadros conceptuais, podem destacar conceitos chaves e relações importantes para a avaliação uma vez que têm um papel útil na síntese e na comparação entre locais. (Neville Ash 2010) O Quadro conceptual (Fig 5) referido no *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA), é de certa forma, um quadro de referência para

outros, no entanto não existe nenhuma standardização dos quadros podendo-se tomar o do MEA e outros como base para a construção de um novo (Neville Ash 2010).

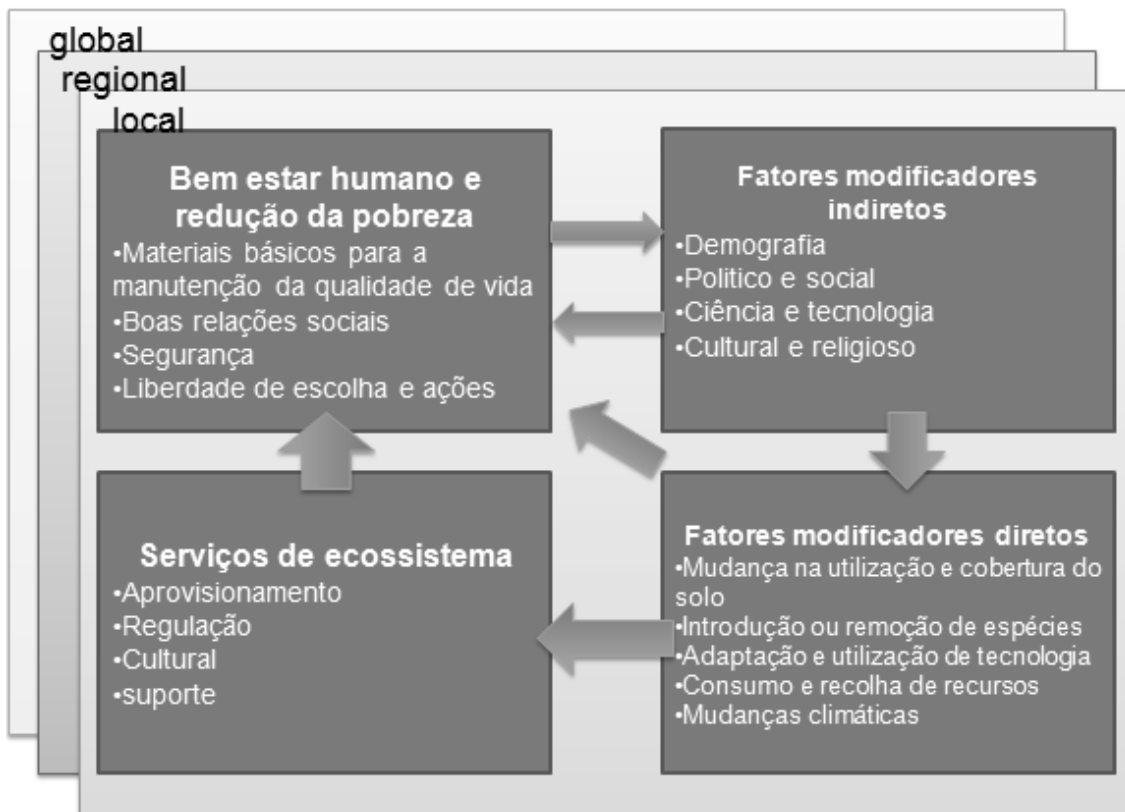


Fig 6 - Fig 6 Quadro conceptual MEA (Alcamo 2003)

No que diz respeito ao quadro conceptual, elaborado pelo MEA, é de realçar que este refere as mudanças indiretas (canto superior direito) que afetam, indiretamente, os ecossistemas como a demografia, tecnologia ou mesmo o estilo de vida, que podem levar a uma alteração dos fatores que afetam diretamente o funcionamento do ecossistema (canto inferior direito), que resultam em serviços de ecossistema (aprovisionamento, regulação cultura e suporte) (canto inferior esquerdo) o que por fim afeta o bem-estar humano. É de relevar que as ligações são multidirecionais e interagem umas com as outras.

Com a realização de diversas avaliações aos serviços de ecossistema, surgiram diversos quadros conceptuais e diferentes classificações (Maes, Egoh et al. 2012). Por base, estes quadros ligam o bem-estar humano ao ecossistema, através do fluxo de “serviços de ecossistema”, e através dos fatores de mudança que afetam os ecossistemas quer através dos impactes causados pelos humanos ou pela utilização dos serviços.

A Fig 7 é também um quadro de conceitos que relaciona os serviços de ecossistema com o bem-estar humano. Tem apenas duas colunas, uma referente aos serviços de ecossistemas, lado esquerdo, e outra para os constituintes do bem-estar humano, lado direito. Estas duas colunas estão relacionadas através de setas que diferem na espessura e na cor conforme a importância destes vínculos. Quanto mais grossa e escura mais forte é o vínculo entre estas duas colunas.



Fig 7 - ligação entre os serviços de ecossistema e o bem-estar humano (Alcamo 2003)

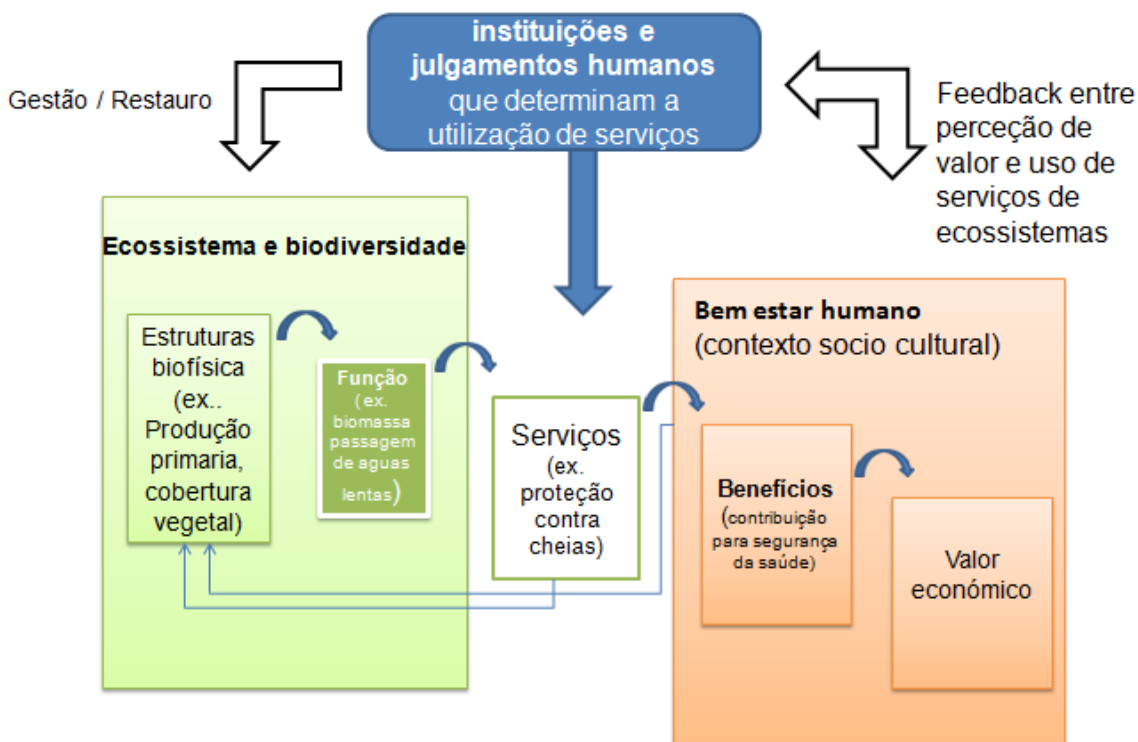


Fig 9- Quadro conceptual TEEB (TEEB 2010)

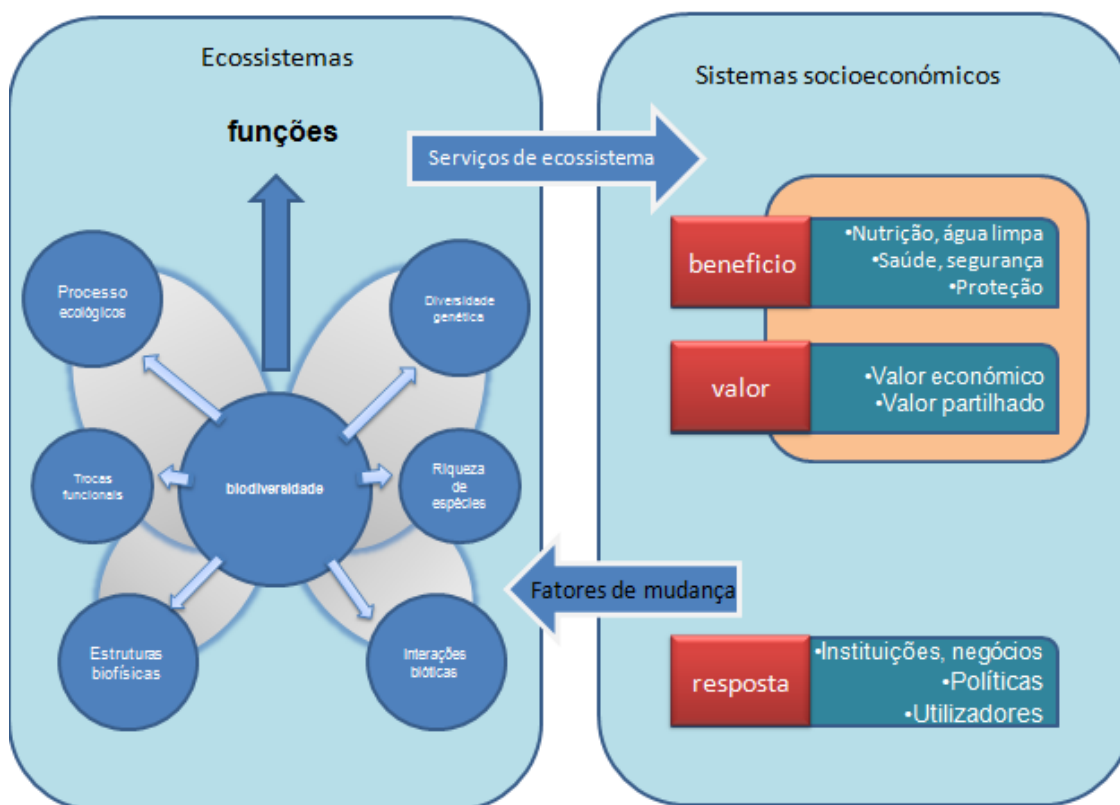


Fig 8 Quadro conceptual CICES <http://biodiversity.europa.eu/maes>

A Fig 8 refere-se ao quadro de conceitos elaborado pelo The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), que em semelhança com o quadro da Fig 7, também utiliza uma coluna referente ao ecossistema e biodiversidade (lado esquerdo) e uma outra referente ao bem-estar humano (lado direito). No entanto, este esquema salienta a importância das estruturas biofísicas e processos para o funcionamento do ecossistema. Só numa fase posterior é que os serviços de ecossistema são referidos como elo de ligação de uma coluna com a outra. Por outro lado, o bem-estar humano é dividido em duas situações: o benefício que o serviço de ecossistema pode fornecer e o valor que esse serviço possa vir a ter. Por fim todos estes elementos estão ligados pelo modo como as instituições e os seres humanos utilizam os serviços.

No ano de 2012 a União Europeia também lançou um esquema de conceitos (Fig 9) de ecossistema, Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)(Haines-Young 2013; Potschin 2013). Muito semelhante aos outros dois, mas que destaca a saúde do ecossistema, uma vez que quanto mais saudável for o ecossistema, maior é a quantidade de serviços que podem ser fornecidos para proporcionar o bem-estar humano. Assim sendo, este esquema apresenta na coluna esquerda os processos do ecossistema fundamentais para funcionamento deste. Estes vão fornecer serviços de ecossistema, que por sua vez se vão ligar à coluna da direita, e aumentar os benefícios prestados ao homem, “mudanças positivas no bem-estar humano a partir da satisfação das necessidades e dos desejos”. A atribuição de valor que é bastante complicado de definir, pois depende de vários fatores desse ecossistema, esta atribuição vai levar a uma resposta por parte das pessoas interessadas e daí vão derivar fatores de mudança (Maes, Egoh et al. 2012).

Estas representações gráficas apresentam diferentes formas de pensamento mais focadas no bem-estar humano (MEA) (Alcamo 2003) e outras na importância da manutenção do bom estado ecológico e da biodiversidade para que as trocas sejam feitas de forma equilibrada (TEEB e UE) (TEEB 2010; Potschin 2013).

Tendo em conta as orientações fornecidas em Maes, Egoh et al. 2012 para enquadrar devidamente a avaliação, de um ou mais serviços de ecossistema é necessário ter em conta os fatores que modificam o ecossistema que, normalmente, resultam da interação de vários fatores que variam no espaço e no tempo. Cada localidade ou região tem uma relação específica de fatores bióticos e abióticos (Maes, Egoh et al. 2012). Estas modificações podem ser diretas, se influenciarem diretamente

o ecossistema, enquanto as indiretas afetam o ecossistema de forma mais disseminada, uma vez que afetam um ou mais modificadores diretos. Os resultados desses modificadores são os serviços de ecossistema reais, aprovisionamento, regulação, culturais e de suporte. Estes vão ter influência no bem-estar humano, que segundo MAE “inclui as necessidades materiais básicas para uma boa vida, a experiência da liberdade, a saúde, a segurança pessoal e as boas relações sociais. Juntos, fornecem as condições para, satisfação social, psicológica, física e espiritual.”

Existem várias formas de expressar estas relações como o exemplo, apresentado na Fig 10, que se refere às bacias hidrográficas que fornecem habitat para a conservação *in situ* da biodiversidade e dos bens e serviços do ecossistema:

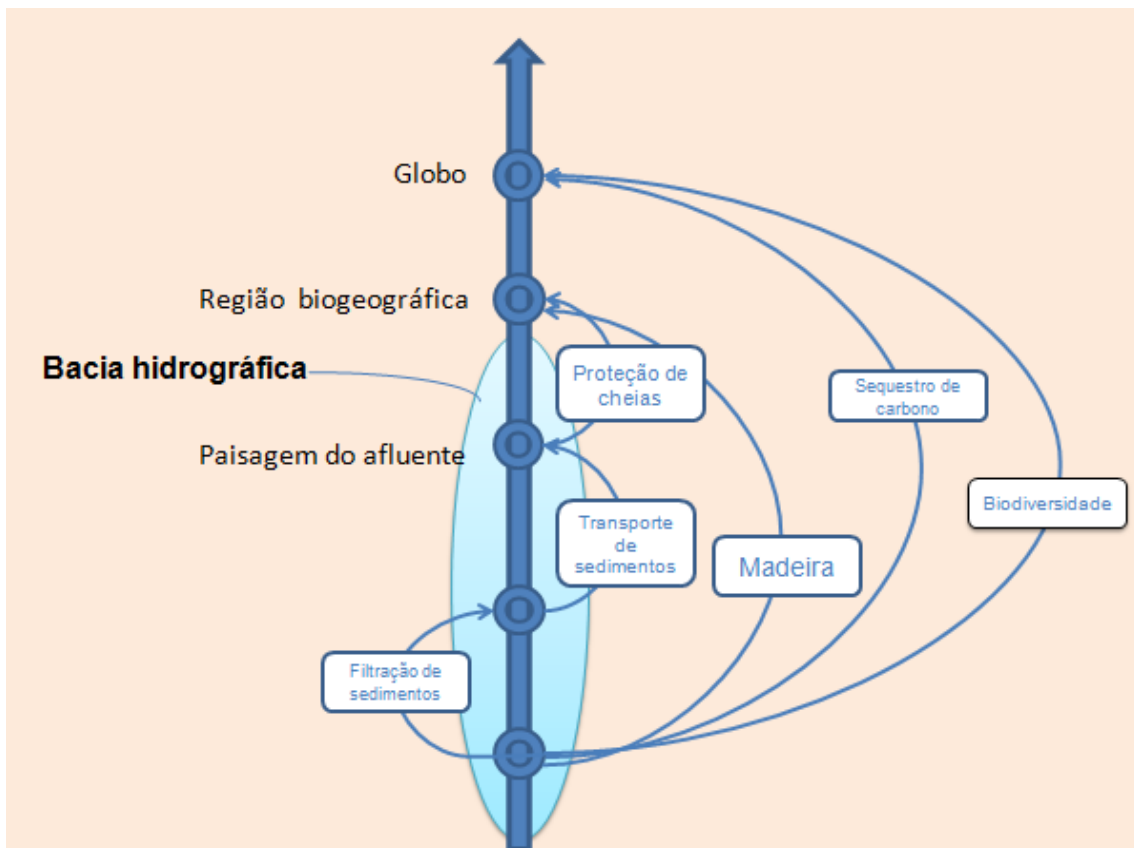


Fig 10 - Esquema de conceitos no estudo dos serviços de habitat fornecidos por um rio tributário [9+3]

Estes quadros são importantes na medida em que: fornecem informação sobre o estado atual do ecossistema ou dos serviços de ecossistema que estão a ser oferecidos; como é que os órgãos de gestão e de decisão política podem ter uma

influência evidente no estado do ecossistema; e podem e devem ser adaptados conforme o contexto do estudo que está a ser realizado.

2.3 - Classificação de serviços de ecossistema

Enquanto os quadro de conceitos são válidos para qualquer tipo de ecossistema, para cartografar os serviços é necessário ter em conta as diferentes classificações de ecossistema existentes e qual se adequa melhor ao tipo de ecossistema em estudo.

As classificações existentes a nível internacional são as do MEA, TEEB e CICES. No seu âmbito estas três classificações relacionam-se bastante, as três incluem serviços de aprovisionamento, regulação e cultural. Todas têm vantagens e desvantagens derivadas do contexto em que foram desenvolvidas.

A primeira a surgir foi a classificação do MEA e conduziu ao desenvolvimento das outras duas, uma vez que estas são adaptações da primeira. Os quatro grupos fundamentais e simultaneamente os mais conhecidos são:

- Serviços de aprovisionamento
- Serviços de regulação
- Serviços de suporte
- Serviços culturais

Já a classificação sugerida pelo TEEB inclui 22 serviços de ecossistema inseridos em 4 categorias:

- Serviços de aprovisionamento
- Serviços de regulação
- Serviços de habitat
- Serviços culturais e amenidade

A grande diferença sugere que o TEEB não inclui os serviços de suporte pois estes são vistos como uns subconjuntos das funções do ecossistema. No entanto, surgem os serviços de habitat de forma a realçar a importância que os ecossistemas têm em fornecer habitat para espécies migratórias, ou como protetores do *gene-pool*. Para o ecossistema fornecer estes serviços é essencial o bom estado do habitat. O caso da proteção do *gene-pool* é uma importante referência uma vez que estes pontos podem fornecer informações importantes a nível de gestão e decisão política pois são locais que devem ser conservados (Favan Sukhdev and Bishop 2010).

Quanto ao CICES, a classificação foi desenvolvida tendo em conta a dimensão dos serviços de ecossistema. Aqui os serviços ou são fornecidos por organismos vivos (biota) ou uma combinação de organismos vivos mais os processos abióticos (Haines-Young 2013).

Os serviços abióticos podem afetar o ecossistema mas, segundo esta classificação, não dependem dos organismos vivos para chegarem ao ecossistema e assim são considerados parte do capital natural no geral.

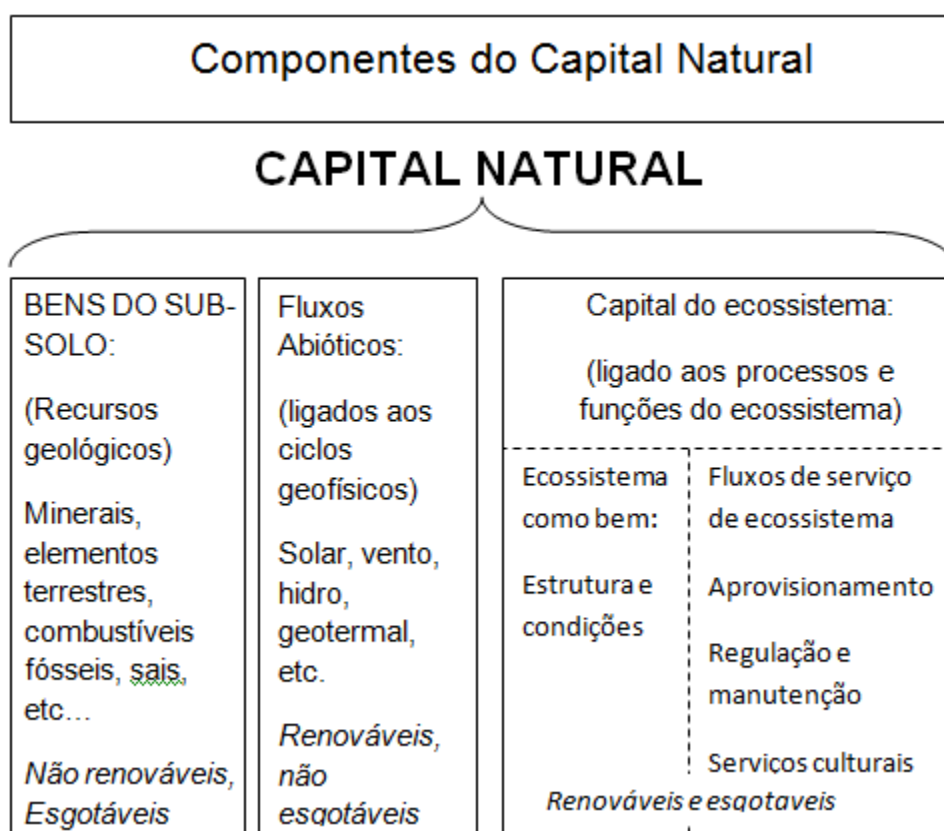


Fig 11 - componentes fundamentais do capital natural nas suas três principais componentes. Combinação entre os fatores bióticos e abióticos, bens abióticos não renováveis e recursos abióticos não dependentes. Adaptada Agência Europeia do Ambiente (Maes, Egoh et al. 2012)

Para o CICES é fundamental a manutenção dos *stocks* do capital natural para a manutenção da oferta dos serviços de ecossistema. A tabela 3 compara as diferentes classificações do ecossistema mostrando que o sistema CICES é bastante mais específico quanto aos serviços de ecossistema que os outros dois. (Haines-Young 2013)

Tabela 3 comparação das categorias dos diferentes serviços de aprovisionamento TEEB, CICES, MA adaptado [(Maes, Egoh et al. 2012)

Categorias MEA	Categorias TEEB		Grupos CICES v4,3
Comida	Comida	Serviços de aprovisionamento	Biomassa [Nutrição]
			Biomassa (materiais derivados de plantas, algas e animais para uso na agricultura)
Água doce	Água		Água para uso consumptivo
			Água para uso não consumptivo
Fibras e madeira	Matéria bruta		Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)
			Biomassa (material genético de todo o biota)
Recursos genéticos	Recursos genéticos		Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)
Bioquímico	Recursos medicinais		Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)
			Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)
Recursos ornamentais	Recursos ornamentais		Biomassa baseada em fontes de energia
		Energia mecânica (baseada em animais)	

Tabela 4 - comparação das categorias dos diferentes serviços de regulação TEEB, CICES, MA adaptado [(Maes, Egoh et al. 2012)]

Categorias MEA	Categorias TEEB		Grupos CICES v4,3
Regulação da qualidade do ar	Regulação da qualidade do ar	Serviços de regulação (TEEB) serviços de regulação e suporte (MEA) serviços de regulação e manutenção (CICES)	Fluxos de gases e de ar
Purificação e tratamento da água	Purificação e tratamento da água		Mediação de [desperdícios, tóxicos e outros nocivos] pelo biota
			Mediação de [desperdícios, tóxicos e outros nocivos] pelo ecossistema
Regulação da água	Regulação dos fluxos de água		Fluxos de líquidos
	Moderação de eventos extremos		
Regulação da erosão	Prevenção da erosão		Fluxos de massa
Regulação do clima	Regulação do clima		Composição atmosférica e regulação do clima
Formação do solo (serviço de suporte)	Manutenção da fertilidade do solo		Formação e composição do solo
Polinização	Polinização		Manutenção do ciclo de vida, habitat, gene-pool e proteção
Regulação de pragas	Controle biológico		Controlo de pragas e doenças
Regulação de doenças			
Produção primária e ciclo de nutrientes (serviço de suporte)	Manutenção do ciclo de vida das espécies migratórias (inclui serviço de berçário)		Formação e composição do solo
	Manutenção da diversidade genética (especialmente proteção do gene-pool)		Manutenção do ciclo de vida, habitat, gene-pool e proteção
			Manutenção das condições da água
		Manutenção do ciclo de vida, habitat, gene-pool e proteção	

Tabela 5 - comparação das categorias dos diferentes serviços culturais TEEB, CICES, MA adaptado [(Maes, Egoh et al. 2012)]

Categorias MEA	Categorias TEEB		Grupos CICES v4,3
Valores espirituais e religiosos	Experiencia espiritual	Serviços culturais	Espiritual ou emblemático
Valores estéticos	Informação estética		Intelectuais ou interações representativas
Diversidade cultural	Inspiração pela cultura, arte e design		Intelectuais ou interações representativas
			Espiritual ou emblemático
Recriação ou ecoturismo	Recriação e turismo		Interações físicas ou experimentais
Conhecimento do sistema e valores educacionais	Informação para o desenvolvimento cognitivo		Intelectuais ou interações representativas
		Outros resultados culturais	

2.4 - Mapeamento de ecossistemas

Nem todos os ecossistemas podem ser mapeados, apenas aqueles que estejam na escala de biótopo, habitat ou paisagem, pois é necessária uma delimitação espacial do ecossistema que não é possível fazer quando este existe numa escala muito reduzida, como por exemplo uma gota de água. A delimitação é feita através da sobreposição de diferentes camadas de fatores significativos como por exemplo: cartografar a localização das discontinuidades (distribuição de organismos); ambientes biofísicos (tipo de solo, profundidade da água); ou pelas interações espaciais (fluxos de matéria).

O mapeamento de ecossistemas é a delimitação espacial do ecossistema, seguindo uma tipologia previamente combinada que depende totalmente do objetivo do trabalho e da escala. Este mapeamento inclui também o estado do ecossistema como o resultado de monitorizações contínuas.

Quanto às abordagens existentes no que diz respeito ao mapeamento de ecossistemas destacam-se duas:

Tipologia - divide a natureza em tipos de ecossistema, estas classes podem-se repetir em diferentes localizações geográficas;

Regionalidade – descreve o ecossistema numa visão mais regional, ou seja, um espaço único;

Estas abordagens podem ser utilizadas separadamente ou em conjunto.

O mapeamento de ecossistema é perfeitamente capaz de sustentar várias medidas de gestão, no entanto, depende muito dos dados que se encontram disponíveis. O mapeamento dos ecossistemas pode ser uma agregação de dados que represente suficientemente bem a distribuição espacial, no que diz respeito aos fatores biofísicos da superfície do terreno e dos corpos de água ou mar. Este tipo de mapas deve ter como objetivo a representação quantitativa do estado do ecossistema, tal como, a sua distribuição e extensão (Benis Egoh 2012).

Existem várias abordagens que podem ser utilizadas para o mapeamento de ecossistemas. A primeira, é utilizar a informação existente sobre serviços de ecossistema nos mapas de utilização/cobertura de solo ou de Habitat (Burkhard 2012 b)). Esta abordagem apenas faz sentido utilizar quando as áreas são muito grandes e o serviço de ecossistema está diretamente relacionado com a utilização do solo, ou quando os dados disponíveis são limitados, ou, ainda, quando não se pretende quantificar o fornecimento, mas sim, se o serviço de ecossistema existe ou não.

Os primeiros dados a serem utilizados são as estatísticas existentes para os serviços de aprovisionamento. Estes dados são de facto os mais fiáveis e não estão, a maior parte das vezes, disponíveis para outros tipos de serviços de ecossistemas. Para colocar em mapas os outros tipos de serviço de ecossistema (culturais, regulação, suporte) os investigadores devem recorrer à utilização de modelos (Maes, Egoh et al. 2012).

Outra forma de mapear os ecossistemas é utilizar a informação já existente em mapas de valoração de serviços de ecossistema (Robert Costanza 1997). Normalmente os estudos de valoração dos serviços de ecossistema são depois transpostos para locais de estudo e por vezes, quando utilizam o método de transferência de valor, dão origem a indicadores de fornecimento de serviços de ecossistema e outras funções de valor, incluindo o número de variáveis espaciais.

Existe uma grande urgência na introdução destas bases de dados na tecnologia de GIS e na disponibilidade de mais bases de dados qualitativos, a nível socioeconómicos e biofísicos que aumentem a possibilidade e o potencial de aplicação do exercício de valoração espacial.

Atualmente os mapas são baseados em dados biológicos, uma vez que a disponibilidade de serviços de ecossistema depende diretamente da função e das características da biodiversidade do local. As interações funcionais podem ser utilizadas como modelo de *trade-offs* entre serviços de ecossistema.

Por fim, existem abordagens de mapeamento integradas que são baseadas em modelos de processos dinâmicos ou modelos que estimam a produção ecológica como por exemplo aquelas que estão presentes no InVEST. Esta abordagem tem em conta os mecanismos subjacentes do ecossistema até à entrega do serviço de ecossistema, e desta forma tem uma maior aproximação à realidade, por isso requerem um grande investimento.

Como referido em cima, existem várias formas de abordar o mapeamento de ecossistemas. Muitas vezes são utilizados vários indicadores diferentes para o mesmo tipo de serviço de ecossistema o que resulta em diferentes unidades. Dadas as várias definições de serviço de ecossistema alguns autores apenas utilizam os serviços de ecossistema que derivam do sistema natural, enquanto outros incluem também os serviços transformados pelos humanos. Uma outra divergência é que alguns autores utilizam nos seus mapas os *stocks* de serviços de ecossistema, enquanto outros utilizam os fluxos. Todas estas diferenças levam a que o estudo do mesmo serviço de ecossistema no mesmo local possa ter vários resultados diferentes. .

É evidente que é necessário adotar uma metodologia mais rígida e padronizada quer para a metodologia de mapeamento, quer para a classificação de ecossistemas. Com esse objetivo surgiu o CICES com o intuito de fornecer uma classificação mais detalhada, e desta forma facilitar a uniformização de conceitos e metodologias.

Para este trabalho foi utilizada a tabela em anexo para classificar os serviços de ecossistema baseados na metodologia de CICES.

Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos permitem-nos ter uma perspectiva do fenómeno que é alvo de estudo, dando-nos a possibilidade de avaliar a influência das variáveis que deverão ser alvo de maior aprofundamento científico, possibilitando o foco e limitando a dispersão de esforços. Os modelos matemáticos têm ainda a tendência para ser parcimoniosos, ou seja, dão-nos uma melhor estimativa da resposta (George Box).

A construção de um modelo deve obedecer a 5 fases distintas:

1. Conceção do modelo;
2. Implementação;
3. Calibração;
4. Análise de sensibilidade;
5. Validação.

A conceção do modelo tem como base a definição do objetivo concreto do mesmo, a definição de todos os componentes inerentes a este (variáveis, pressões, fluxos...), o tempo e o espaço do modelo e as limitações do mesmo. A segunda fase é a de implementação que decompõe o problema e define os submodelos adequados. É nesta fase que se constrói o modelo visual (estrutura do programa), que se recolhem e se tratam os dados e por fim, se realiza a simulação e o teste do mesmo. No final desta segunda fase deve-se fazer uma análise de sensibilidade pois esta determina o efeito da variação de um determinado *item* no seu valor total. Esta análise é o conjunto de uma análise de identificabilidade (verifica se os dados que estão disponíveis são suficientes para determinar os parâmetros do modelo e a incerteza que lhe está associada, através da estimativa de erros padrão e de coeficientes de correlação) com análise de incerteza (Brito *et al* 2014).

A fase seguinte é a calibração, que ajusta os parâmetros e as funções utilizando dados experimentais. Esta é uma das fases mais complexas e demoradas, uma vez que se deve testar o modelo com dados experimentais durante um determinado período de tempo e, posteriormente, testar novamente mas com dados de um *forcing* diferente, permitindo assim testar o modelo a uma maior amplitude de resultados. Esta dificuldade é muitas vezes agravada porque os parâmetros só são conhecidos em valores discretos. As observações com baixas frequências, não conseguem revelar

dinâmicas muitas vezes devido à variabilidade dos parâmetros ao longo do tempo. No fim da fase de calibração, o modelo deve ser submetido novamente a uma nova análise de sensibilidade. No final deve-se proceder à validação do modelo, ou seja, testar o modelo com dados independentes (Brito *et al* 2014).

“Essencialmente, todos os modelos estão errados mas alguns são úteis...”(George Box)

3 - Resultados

3.1 – Caracterização da bacia hidrográfica do rio Tâmega

3.1.1 - Mapas de qualidade da água

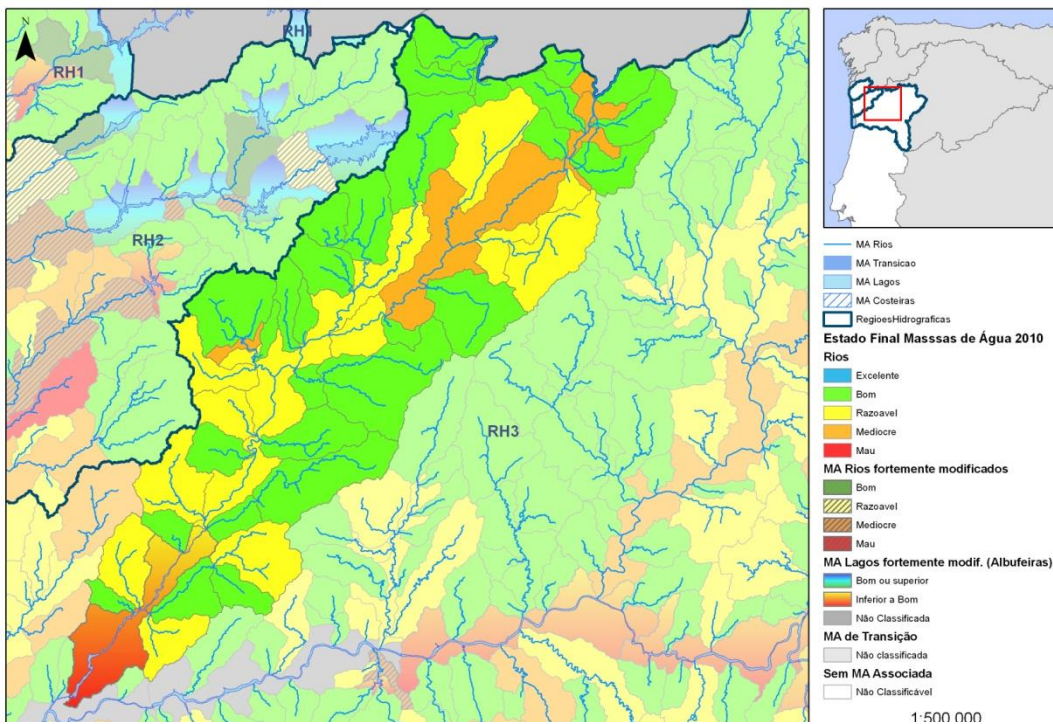


Fig 13 - mapa qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tâmega no ano 2010

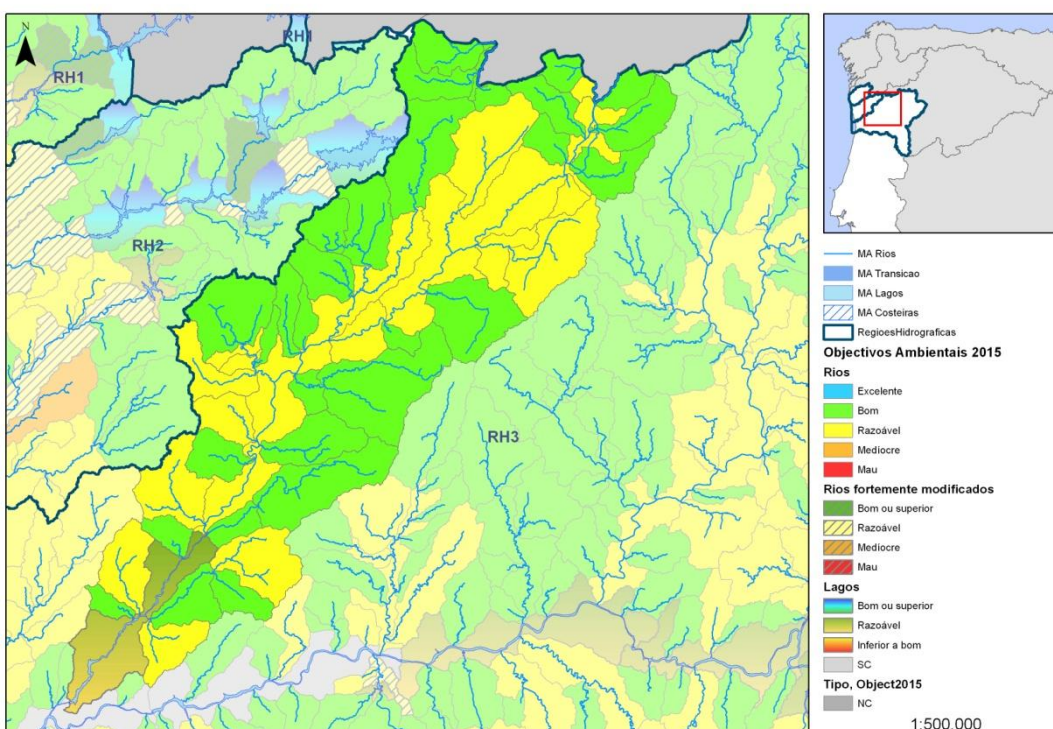


Fig 12 - - mapa qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Tâmega no ano 2015 (previsão)

Os mapas acima representados pelas figuras 12 e 13 representam a qualidade da água no ano de 2010 e a previsão para o ano de 2015 referente à bacia hidrográfica do Rio Tâmega. Como podemos observar a qualidade da água do rio Tâmega apenas varia de medíocre para razoável e a sua albufeira apresenta uma classificação de inferior a bom. No entanto, os seus afluentes têm maioritariamente uma classificação de bom. Com a implementação de medidas presentes no PGRH 3 é de esperar que a qualidade da água melhore substancialmente deixando de ter massas de água com classificação inferior a razoável, conforme previsto pela lei da água.

3.1.2 Distribuição de potenciais focos de poluição

Para a realização dos mapas foi utilizado o programa Sistema de Informação Geográfica (SIG) e os dados foram fornecidos gentilmente pela APA I.P./ ARH do Norte. Os mapas estão a escala 1:100.000.



Fig 14 - mapa da sub-bacia do rio Tâmega. Rio Tâmega e seus afluentes. Identificação de zonas protegidas

Este primeiro mapa representa a bacia hidrográfica do rio Tâmega e as áreas protegidas nela existente pela Lei da Água. Marcado a castanho está a localização da albufeira do torrão

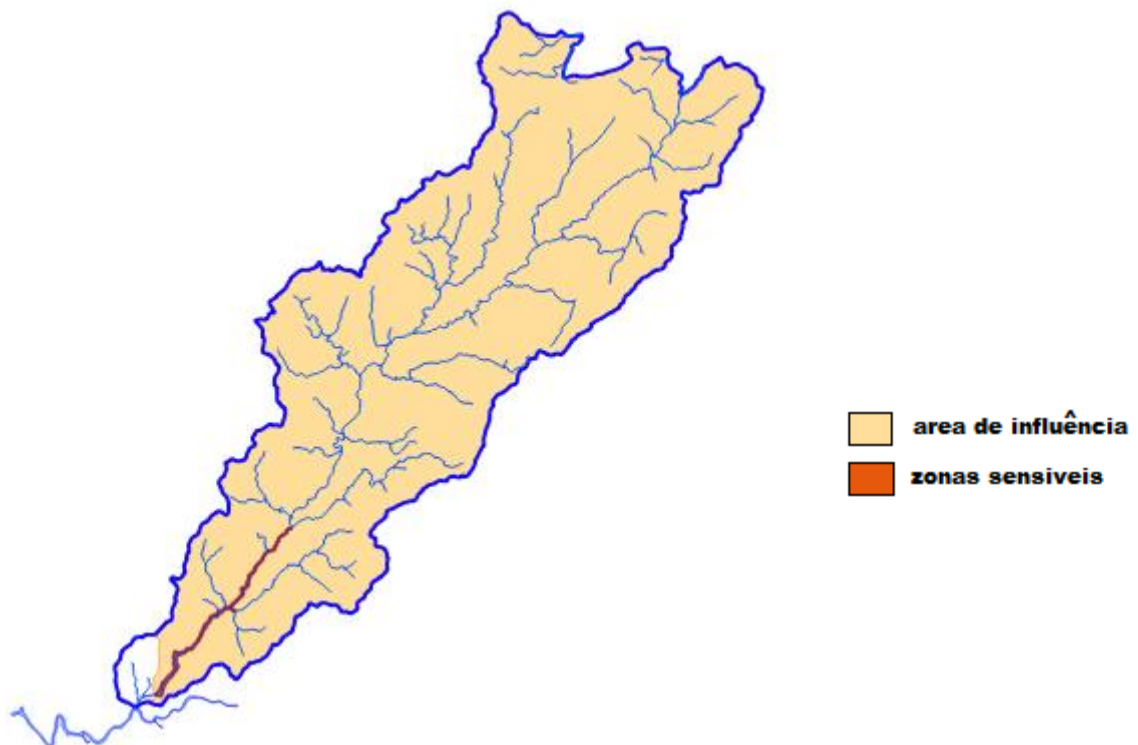


Fig 15 - mapa da sub bacia do Tâmega zona sensíveis DARU

Mapa referente as zonas sensíveis pertencentes à Diretiva das Águas Residuais Urbanas (DARU) “tem como objetivo, para além da preservação dos ecossistemas aquáticos, a proteção do homem dos efeitos nocivos provocados pelas descargas de águas residuais urbanas, bem como assegurar, enquanto diretiva instrumental da Diretiva Quadro da Água, a obtenção, até 2015, do bom estado ecológico das massas de água, definiu -se como área de influência destas zonas a bacia hidrográfica da zona sensível, excluindo nalguns casos a bacia hidrográfica correspondente ao limite de montante da zona sensível.”

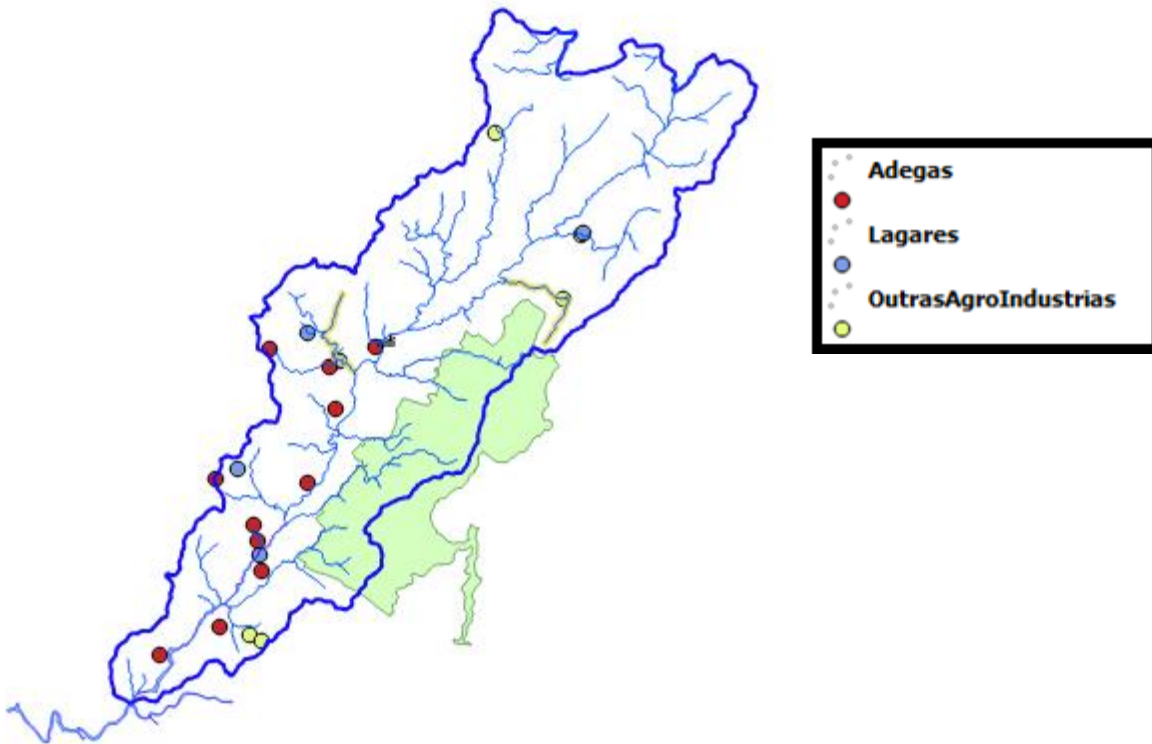


Fig 16 - mapas da sub- bacia do Rio Tâmega referente á localização de Adegas, lagares e outras agroindustriais

As adegas e os lagares encontram-se distribuídos principalmente mais a jusante do rio.

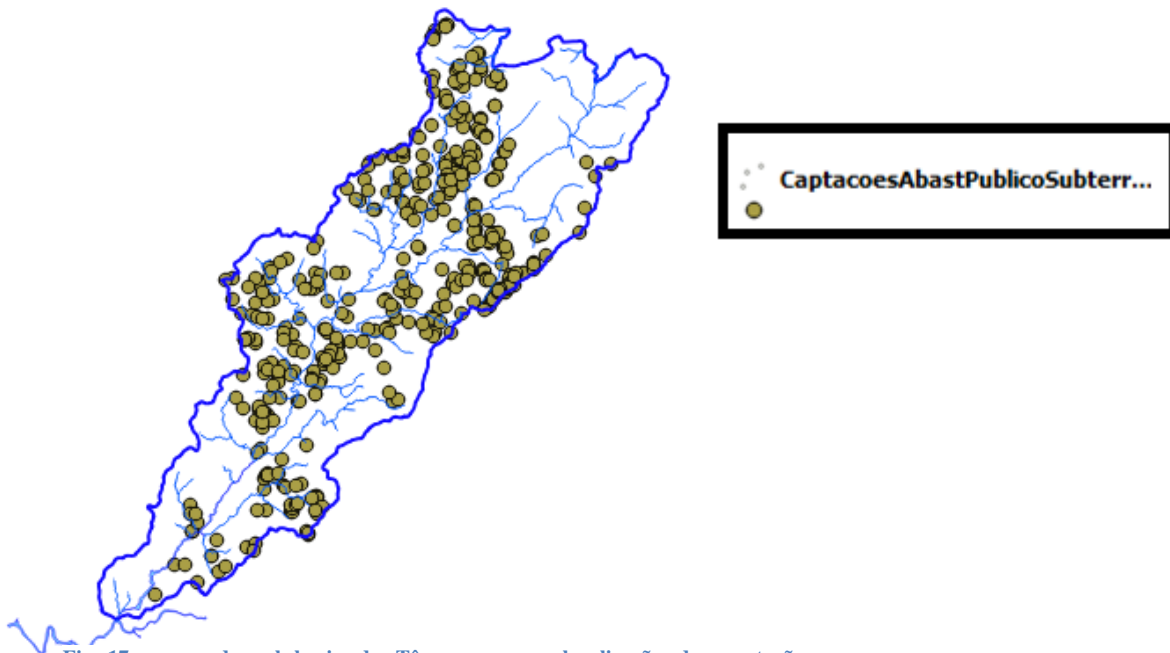


Fig 17- mapa da sub-bacia do Tâmega com a localização das captações subterrâneas

As captações subterrâneas são normalmente pertencentes a particulares utilizadas para consumo ou rega.



Fig 18 - mapa da sub-bacia do Tâmega com a localização das captações superficiais e aterros

As captações superficiais são utilizadas para a recolha de dados superficiais para monitorização.

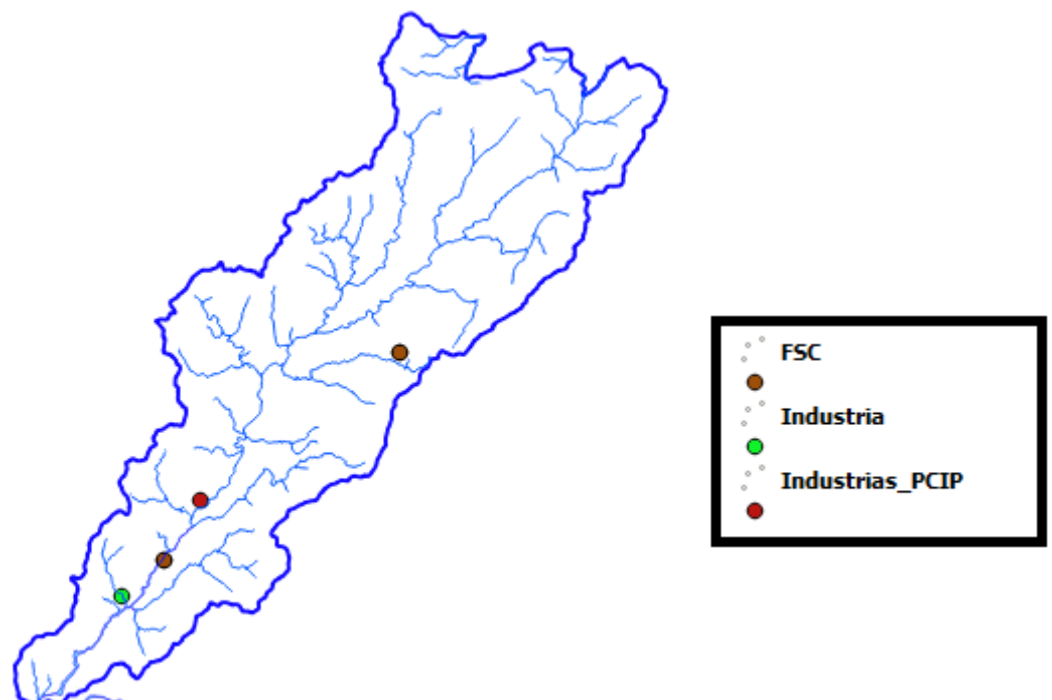


Fig 19 - mapa da sub-bacia do Tâmega com a localização das indústrias

A imagem 19 é referente á quantidade de indústrias presentes nesta sub-bacia.

Este mapa apresenta as áreas de influência, toda a bacia hidrográfica, em termos de nutrientes e as zonas sensíveis do curso de água em termos de nutrientes, depois de Amarante.

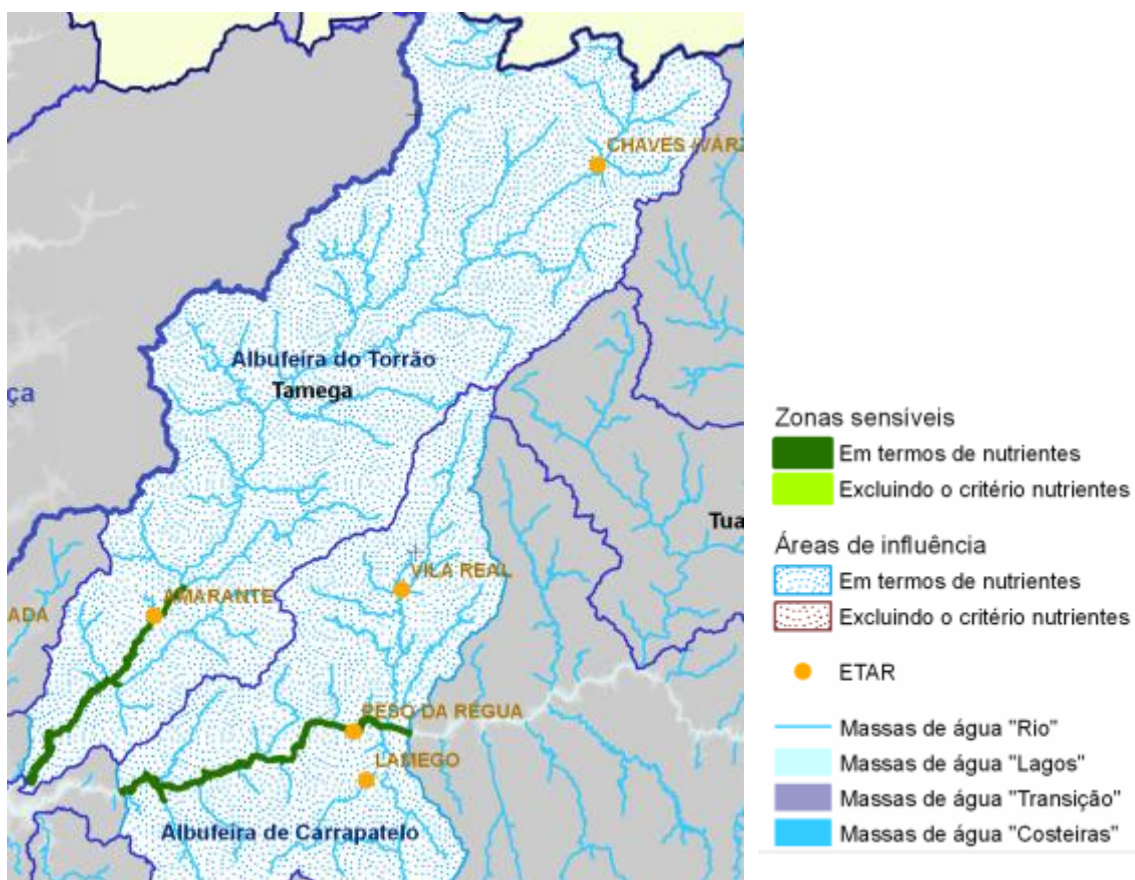


Fig 20 - zonas sensíveis de nitratos e respetivas áreas de influência

Este mapa apresenta as áreas de influência, toda a bacia hidrográfica do Tâmega, em e as zonas sensíveis do curso de água em termos de nutrientes. De realçar o facto de estas zonas sensíveis serem continuas praticamente desde a zona de Amarante ate a foz.

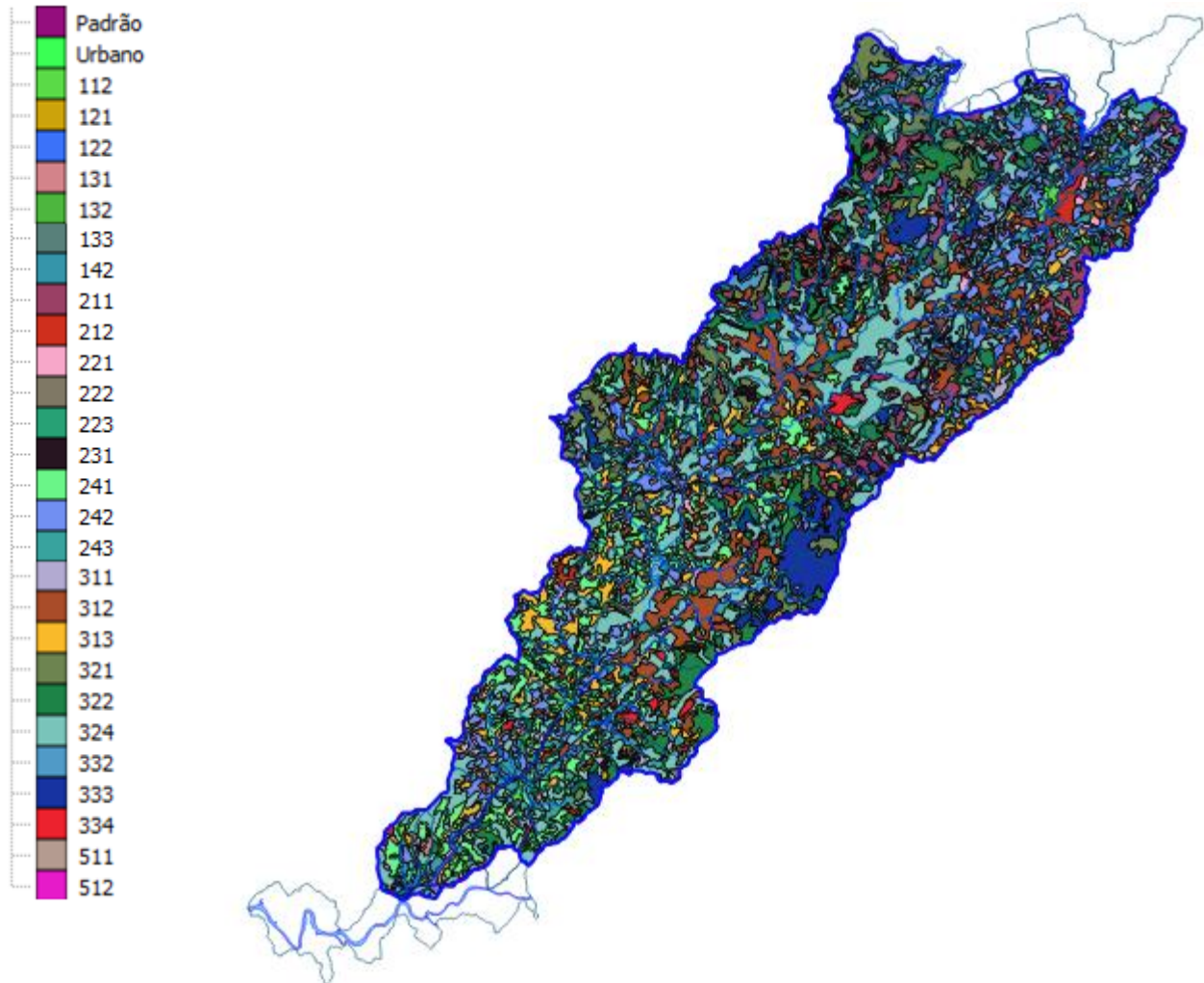


Fig 21 mapa da sub-bacia do Tâmega com a ocupação de solo baseada na Corine Land cover

Como se pode observar no mapa a distribuição de solo é muito variada predominada por florestas e matas, com algumas áreas urbanas e culturas permanentes de vinhas.

3.1.2 Quantidade de azoto e precipitação

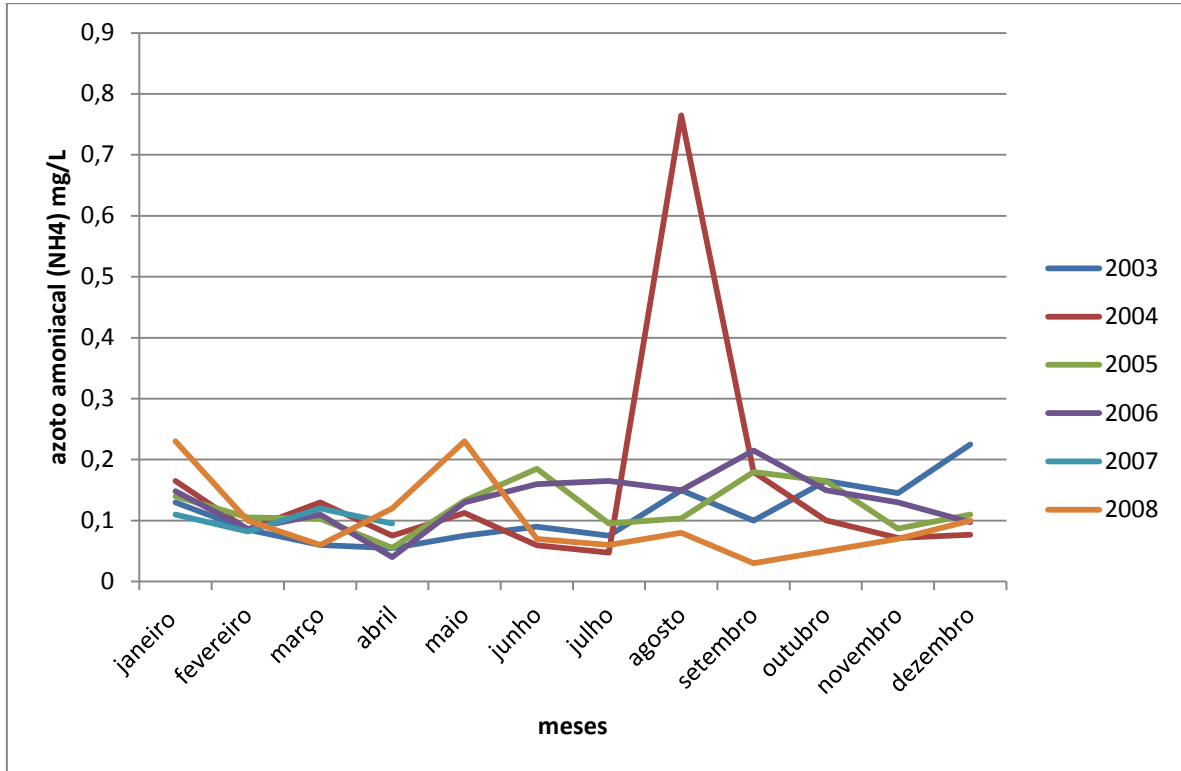


Gráfico 1 - quantidade de azoto amoniacoal (mg/L) mensalmente durante os anos de 2003 a 2008

O gráfico 1 representa a quantidade de azoto amoniacoal (NH_4) método comum para a analisar a quantidade de iões amónia presentes no sistema aquático. Se tivermos em conta que esta água será para posterior consumo humano (a1) segundo o Decreto-Lei nº236/98, de 1 de agosto, em que impõe um VMA de 0,05 mg/l, a maioria dos valores estão acima do máximo, com destaque para o mês de agosto de 2004. Os dados referentes ao período de maio a dezembro de 2007 são inexistentes, devido a uma falha no equipamento que realiza a análise.

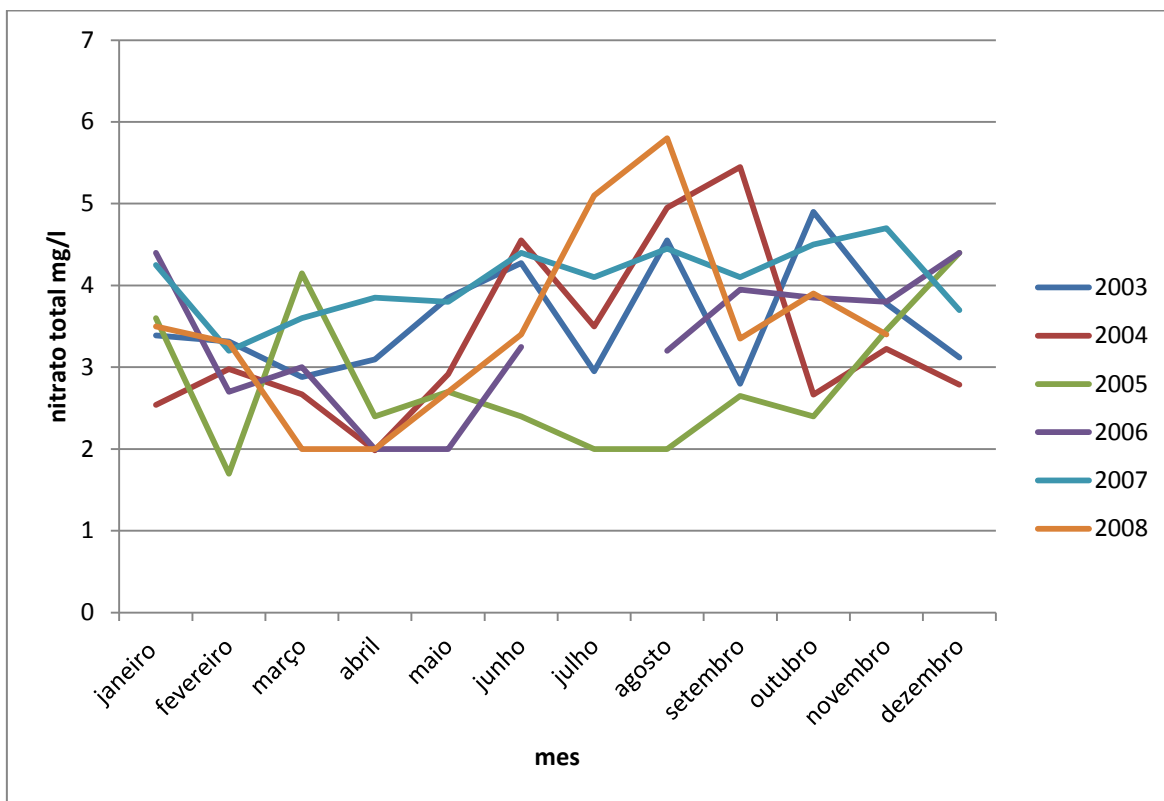
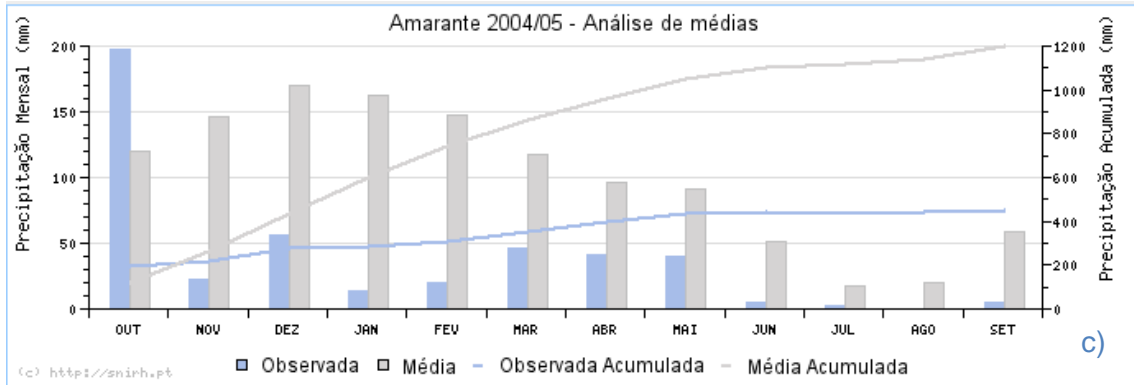
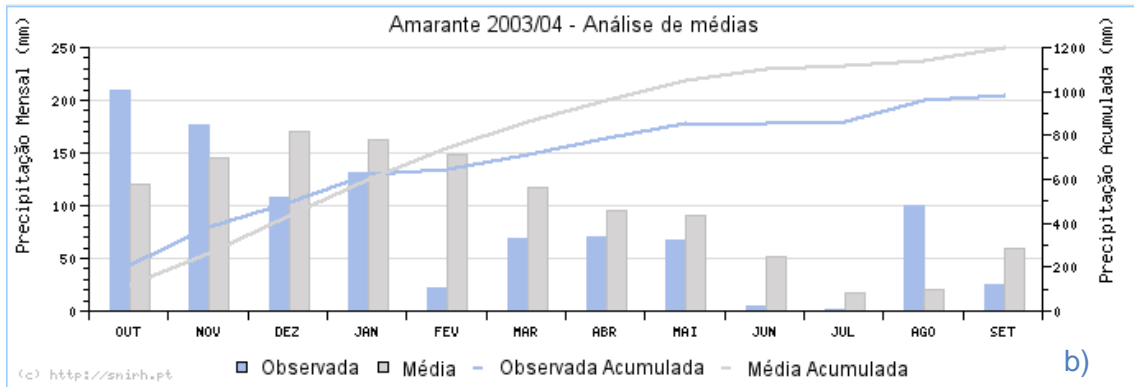
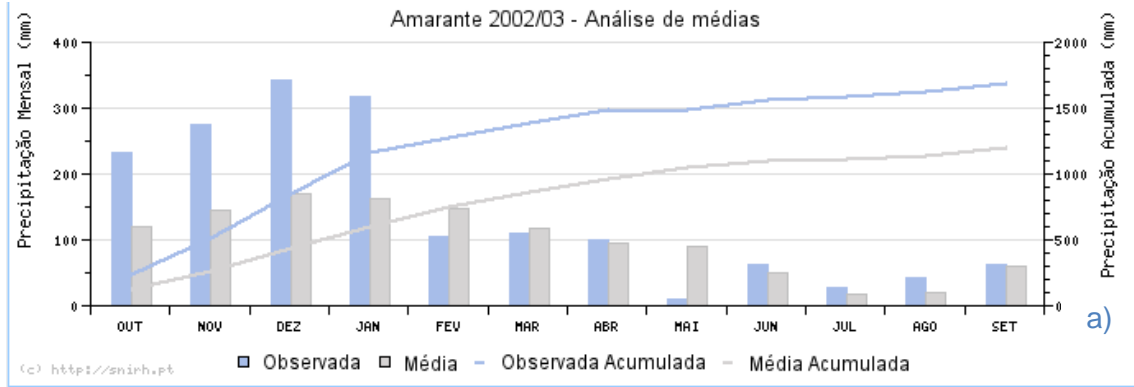
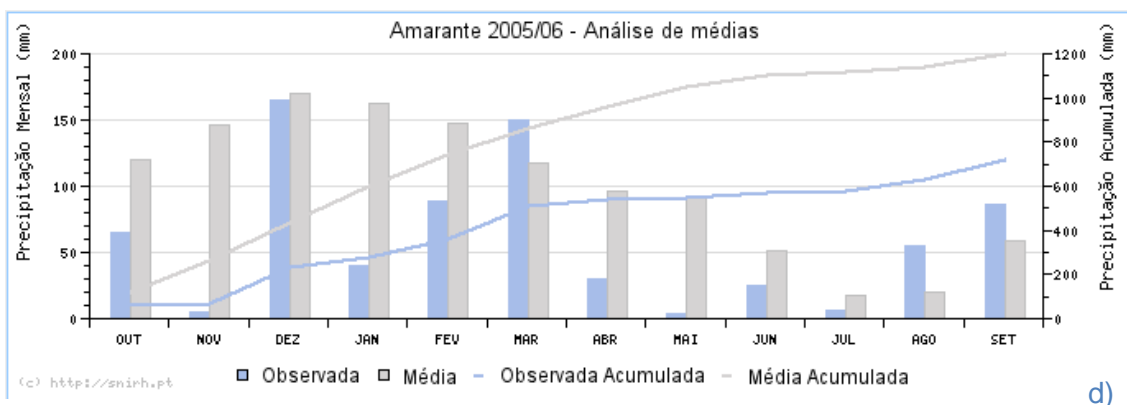


Gráfico 2 - quantidade de nitratos totais (mg/l) mensalmente durante os anos de 2003 a 2008

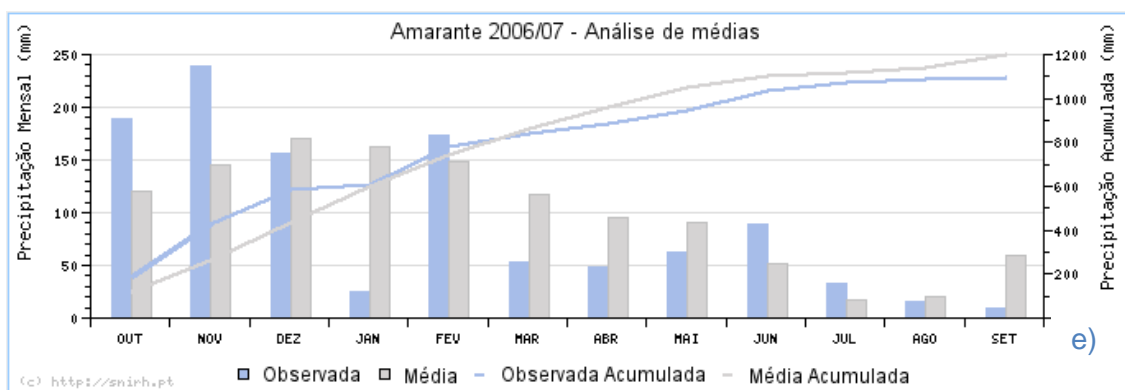
Os valores de nitratos existentes no curso de água encontram-se todos dentro dos limites permitidos no decreto-lei acima referido (VMA 25 mg/l). Os valores para julho de 2006 não constam na base de dados sem nenhuma razão indicada. Os valores mais elevados são nos anos de 2004 e 2008 durante o mês de agosto e setembro, respetivamente.

Precipitação

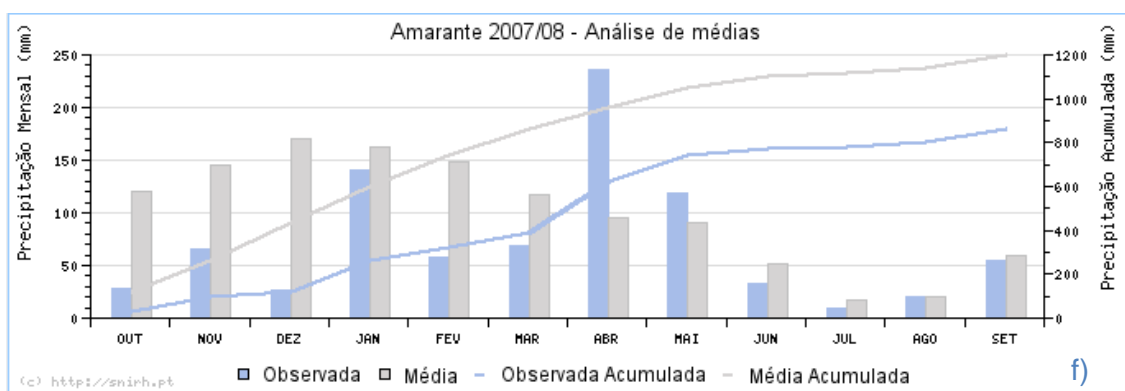




d)



e)



f)

Gráfico 3- precipitação mensal nos anos 2003(a), 2004 (b), 2005(c), 2006(d),2007(e), 2008(f) SNHIR

3.2 Modelos conceptuais

A criação de esquemas ilustrativos dos processos de ecossistemas que vão afetar os serviços é fundamental para compreender a complexidade dos mesmos. É de realçar que o esquema em cima é uma simplificação dos processos. Mesmo assim podemos verificar as implicações dos processos. A entrada de nitratos do ecossistema aquático pode ter variadas fontes, que vão de focos de poluição diretos e difusos, a processos de lixiviação de nitratos provenientes da fertilização de solos agrícolas.

A criação de um modelo para simular o efeito da entrada destes nutrientes no ambiente aquático é muito complexa já que este implica considerar muitas dimensões. No caso concreto deste trabalho foi feito uma pesquisa sobre os diferentes modelos existentes e a sua aplicabilidade.

Baseada nesta pesquisa desenvolveu-se um modelo conceptual simplificado que posteriormente seria ilustrado em mapas



Fig 22 - modelo conceptual introdução de nitratos e melhoria da qualidade da água

Posteriormente este modelo conceptual foi traduzido para um modelo em plataforma STELLA. Esta é uma plataforma 0D , ou seja, apenas o tempo varia.

No STELLA existem variáveis dinâmicas/Estudo (varia no tempo, todas as variáveis relevantes para o modelo têm obrigatoriamente que estar presentes) estas devem ser sempre independentes e é essencial ter em atenção que podem existir variáveis relevante que não são conhecidas, variáveis de fórmula, que não necessitam de estar presentes no modelo e são dependentes de uma variável dinâmica.

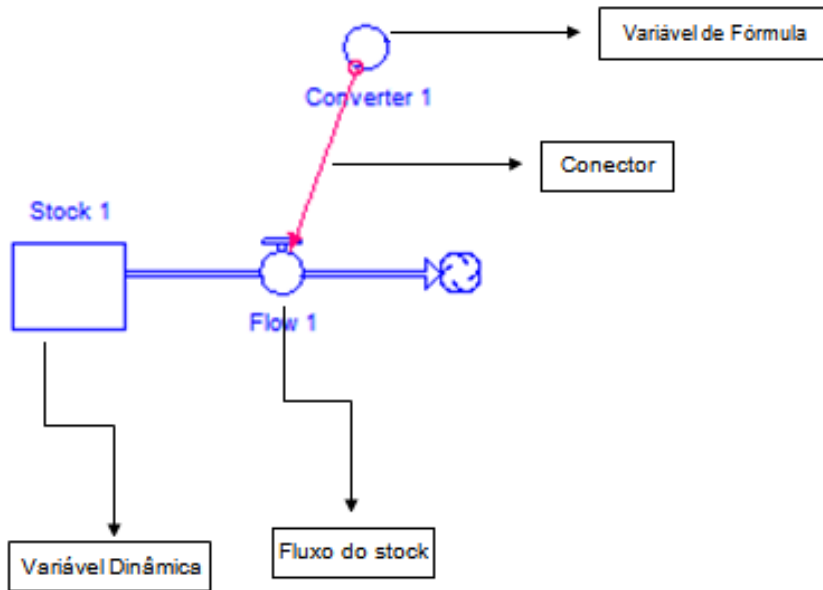


Fig 23 - legenda dos ícones utilizados em STELLA

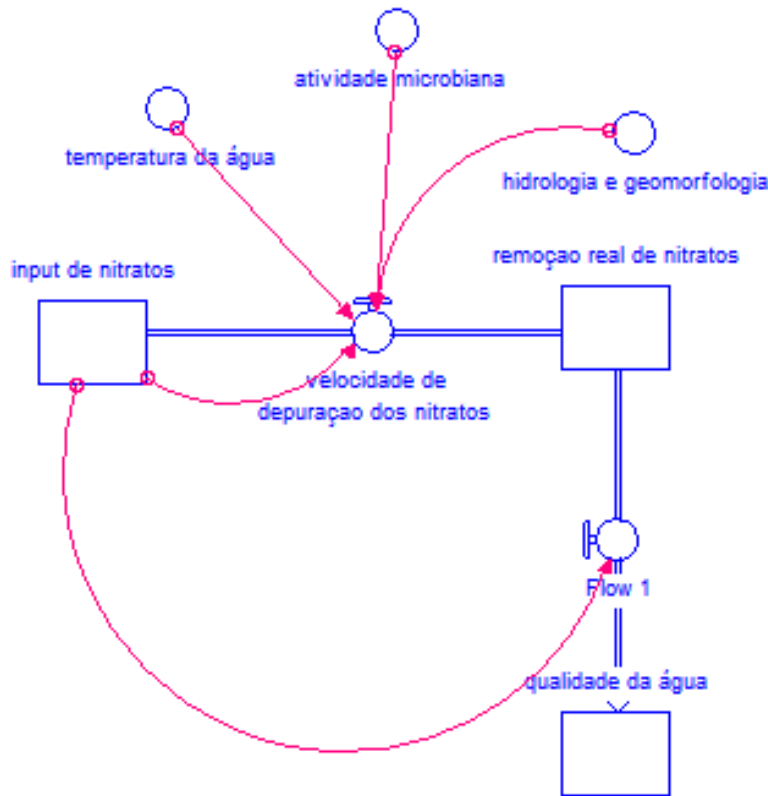


Fig 24 - modelo em STELLA da contaminação de nitratos na qualidade da água

3.3 - Classificação e valoração de serviços de ecossistema

Neste trabalho foi utilizada uma valoração não monetária baseada na oferta e na procura através de uma tabela de pontuações e uma sugestão de qual metodologia deveria ser aplicada aquando uma valoração monetária.

Tabela 6 - chave de identificação das metodologias e relevância na valoração de ecossistema

Escala	Relevância
0	Não relevante
1	Baixa relevância
2	Relevante
3	Medio relevante
4	Alta relevância
5	Muito alta relevância

Metodologia	Classificação
Método do custo de substituição	a
Método das funções dose-resposta	b
Método custo da viagem	c
Método da transferência de benefícios	d
Método da avaliação contingente	e

3.3.1 - Serviços culturais

Tabela 7 tabela com classificação dos serviços culturais na bacia hidrográfica do rio Tâmega, sua valoração e metodologias de valoração mais indicado

Categorias MEA	Categorias TEEB		Grupos CICES v4,3	Valoração dos serviços de ecossistema para o rio Tâmega	Modelo de valoração mais aplicado
Valores espirituais e religiosos	Experiencia espiritual	Serviços culturais	Espiritual ou emblemático	4	c
Valores estéticos	Informação estética		Intelectuais ou interações representativas	4	c
Diversidade cultural	Inspiração pela cultura, arte e <i>design</i>		Intelectuais ou interações representativas	2	c
			Espiritual ou emblemático	4	c
Recriação ou ecoturismo	Recriação e turismo		Interações físicas ou experimentais	5	c+e
Conhecimento do sistema e valores educacionais	Informação para o desenvolvimento cognitivo		Intelectuais ou interações representativas	1	d
			Outros resultados culturais	1	d

Dentro dos serviços culturais destacam-se os de recreação e turismo como os de maior importância dado que esta região tem um volume de turismo considerável. Estes serviços dependem, também, das atividades desenvolvidas na albufeira da barragem do Torrão, com a possibilidade da prática de desportos aquáticos, como canoagem ou aquaból. São estas atividades que permitem uma maior facilidade em atribuir um valor aos serviços de ecossistema do local, quer pelo método custo de viagem quanto é que as pessoas pagam pela deslocação ao local, quer pelo método da avaliação de contingente, dependendo dos consumidores a definição do valor do local. Por outro lado os valores estéticos também são de alta relevância, na bacia hidrográfica do Tâmega. Existem locais como as fisgas do Ermelo ou as Pontes de Arame, que promovem uma grande afluência de turistas a esta região, sendo a metodologia do custo da viagem a mais pertinente a utilizar nesta situação.

3.3.2 Serviços de regulação

Tabela 8 - tabela com classificação dos serviços de regulação na bacia hidrográfica do rio Tâmega, sua valoração e metodologias de valoração mais indicado

Categorias MEA	Categorias TEEB		Grupos CICES v4,3	Valoração dos serviços de ecossistema para o rio Tâmega	Modelo de valoração mais aplicado
Regulação da qualidade do ar	Regulação da qualidade do ar	Serviços de regulação (TEEB) serviços de regulação e suporte (MEA) serviços de regulação e manutenção (CICES)	Fluxos de gases e de ar	2	b
Purificação e tratamento da água	Purificação e tratamento da água		Mediação de [desperdícios, tóxicos e outros nocivos] pelo biota	5	b+e
			Mediação de [desperdícios, tóxicos e outros nocivos] pelo ecossistema	5	b+e
Regulação da água	Regulação dos fluxos de água		Fluxos de líquidos	4	a
	Moderação de eventos extremos			3	a
Regulação da erosão	Prevenção da erosão		Fluxos de massa	3	a
Regulação do clima	Regulação do clima		Composição atmosférica e regulação do clima	2	b
Formação do solo (serviço de suporte)	Manutenção da fertilidade do solo		Formação e composição do solo	0	e
Polinização	Polinização		Manutenção do ciclo de vida, habitat, gene-pool e proteção	0	d+b
Regulação de pestes	Controle biológico		Controlo de pestes e doenças	0	a
Regulação de doenças				0	a
Produção primária e ciclo de nutrientes (serviço de suporte)	Manutenção do ciclo de vida das espécies migratórias (inclui serviço de berçário)		Formação e composição do solo	2	b
			Manutenção do ciclo de vida, habitat, gene-pool e proteção	4	b
	Manutenção da diversidade genética (especialmente proteção do gene-pool)		Manutenção das condições da água	5	a
			Manutenção do ciclo de vida, habitat, gene-pool e proteção	5	B

Os serviços de regulação mais importantes na bacia hidrográfica serão a produção primária e os ciclos de nutrientes, pois estes permitem a manutenção e proteção de espécies como o mexilhão de água doce (*Margaritifera margaritifera*) e a lontra (*Iutra lutra*). Um outro serviço com relevância muito alta é a purificação e tratamento de água, pois é fundamental que o ambiente aquático tenha oportunidade de purificar a água, tornando isso uma grande vantagem pois representa uma poupança de tratamentos de água para consumo. Por essa razão as metodologias mais adequadas

para valorar este serviço são: o método das funções dose resposta, ou seja, quando o ecossistema começa a ter dificuldade em purificar a água e a da avaliação contingente, que permite à população determinar o valor que a purificação tem para eles.

3.3.3 Serviços de aprovisionamento

Tabela 9 - tabela com classificação dos serviços de aprovisionamento na bacia hidrográfica do rio Tâmega, sua valoração e metodologias de valoração mais indicado

Categorias MEA	Categorias TEEB		Grupos CICES v4,3	Valoração dos serviços de ecossistema para o rio Tâmega	Modelo de valoração mais aplicado
Comida	Comida	Serviços de aprovisionamento	Biomassa [Nutrição]	2	e
			Biomassa (materiais derivados de plantas, algas e animais para uso na agricultura)	0	e
Água doce	Água		Água para uso consumptivo	5	a+e
			Água para uso não consumptivo	5	e
Fibras e madeira	Matéria bruta		Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)	0	e
Recursos genéticos	Recursos genéticos		Biomassa (material genético de todo o biota)	5	e
Bioquímico	Recursos medicinais		Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)	0	e
Recursos ornamentais	Recursos ornamentais		Biomassa (fibras e outros materiais derivados de plantas, algas e animais para uso direto ou processamento)	0	e
			Biomassa baseada em fontes de energia	0	a+e
			Energia mecânica (baseada em animais)	0	a+e

As metodologias mais indicadas para valorar os serviços de aprovisionamento são a de avaliação de contingente e o custo de substituição, pois são estes serviços que têm efeitos mais diretos e visíveis no bem-estar humano. Especificamente para a bacia hidrográfica do rio Tâmega, destacam-se como serviços de aprovisionamento mais

relevantes a água para usos consumptivos ou não consumptivos e os recursos genéticos, menos relevante é a utilização de biomassa para nutrição.

4 - Discussão

4.1 – Caracterização da bacia hidrográfica do rio Tâmega

4.1.1 - Quantidade de azoto e precipitação

A escolha do intervalo de tempo estudado foi baseada no facto deste ser o único período de tempo em que não houve alteração nem na metodologia, nem nos locais de amostragem. Para este período existiam mapas de precipitação. De realçar novamente que lamentavelmente a partir de meados de março de 2010 as estações automáticas deixaram de ser viáveis por falta de manutenção.

Para este trabalho era fundamental ter acesso também à quantificação de nitritos total. No entanto, essa análise não foi possível por falta de séries de dados completas nos mesmos pontos de amostragem utilizados para os outros parâmetros. Infelizmente isso acontece pois o laboratório não tem capacidade de processar todas as análises com a mesma frequência deixando o parâmetro nitritos para um período de 6 em 6 meses.

Também é possível referir a partir da comparação dos gráficos de nitratos total e azoto amoniacal com os gráficos de precipitação, que muitas vezes os valores mais elevados estão relacionados com períodos de seca.

Esta falta de dados fiáveis é também provocada por falta de manutenção dos aparelhos de quantificação, que por questões económicas não podem ser aferidos.

4.1.2 Mapas de qualidade da água e Distribuição de potenciais focos de poluição

Os mapas da qualidade da água, representados nas figuras 12 e 13, dizem respeito aos anos de 2010 e 2015 (previsão). O melhoramento no estado da qualidade da água, depende da implementação bem-sucedida das medidas contidas no PGRH 3 em anexo a este trabalho. Está previsto obter em 2015 um resultado que permita a não existência de massas de água com qualidade inferior a razoável.

Até ao momento da realização desta dissertação ainda não estavam disponíveis os relatórios das medidas que efetivamente foram aplicadas, no entanto, nos termos da DQA e da Lei da Água, o planeamento e gestão dos recursos hídricos está estruturado em ciclos de 6 anos. Os primeiros PGBH elaborados no âmbito deste quadro legal,

onde se inclui o *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Douro 2009-2015*, foram publicados em 2012 e estão vigentes até ao final 2015. Dando cumprimento ao calendário da DQA/LA, iniciou-se em janeiro de 2013 o segundo ciclo de planeamento, que visa preparar os PGBH 2016-2021, e que decorrerá ao longo de 36 meses, até dezembro de 2015. Neste âmbito, encontra-se atualmente em desenvolvimento a tarefa de atualização dos Relatórios Síntese sobre a Caracterização das Regiões Hidrográficas, previstos no artigo 5.º da DQA, e sobre as Questões Significativas da Gestão da Água. Será elaborado um relatório para cada região hidrográfica, o qual incluirá uma avaliação do programa de medidas do respetivo PGBH 2009-2015, incluindo uma abordagem ao estado de implementação. Esta informação está ainda em fase de consolidação e conclusão, com o objetivo de ser divulgada em novembro de 2014, altura em que os relatórios serão colocados em consulta pública durante um período de 6 meses, onde será possível avaliar o cumprimento previsto para a bacia do Tâmega.

Ao longo desta segunda parte do trabalho, existiu uma dificuldade de acesso a dados de qualidade ou mesmo de dados, sobre a qualidade da água e sobre a quantificação de nitratos, nitritos ou azoto amoniacal. Se para o rio Tâmega esta era a situação, para os outros afluentes da bacia era ainda mais complicado. Foi possível ter uma perspetiva da utilização dos solos, mas a informação sobre os focos de poluição é muito pobre, não existindo qualquer informação sobre muitos destes. Não é possível sequer estimar a quantidade de carga de poluentes. Urge ter legislação que torne obrigatório o reporte do tipo e quantidade de poluentes que através de uma fiscalização seja possível identificar os focos de poluição difusa.

A ciência necessita de informação para trabalhar e não recolher dados no presente é condicionar a qualidade do futuro de todos nós

Fundamental uma consciencialização da população para a perda de serviços e os custos associados aos mesmos. Se a água estiver contaminada com uma grande quantidade de nutrientes, neste caso nitratos, será necessário gastar mais dinheiro no tratamento da mesma para ser própria para consumo humano.

4.2 - Modelos conceptuais

Durante este trabalho, foi possível desenvolver um modelo conceptual que relaciona a contaminação por nitratos nos sistemas aquáticos e a deterioração dos serviços de ecossistema, focando essencialmente a qualidade da água.

A plataforma STELLA foi escolhida, não só por se adequar ao modelo conceptual anteriormente referido mas também, por ser intuitiva. Foi desenhado o modelo utilizando esta plataforma. O resto da fase de implementação não foi aplicado uma vez que teria que ser estudada uma expressão matemática que relacionasse especificamente para este curso de água a entrada de nitratos e a qualidade da mesma e uma outra que relacionasse essa mesma qualidade com a perda de serviços de ecossistema. São também necessárias várias séries de dados com diferentes capacidades de provocar diferentes *forcings* ao modelo, quer para a calibração quer para as análises de sensibilidade.

4.3 - Classificação e valoração de serviços de ecossistema

Na análise dos serviços de ecossistema foram efetuadas tabelas com uma valoração dos serviços de ecossistema com base na sua relevância. Claramente os serviços de aprovisionamento tem uma maior valoração, uma vez que estão diretamente relacionados com o bem-estar humano, e aos quais é mais fácil atribuir um valor monetário. Não menos importantes são os serviços de regulação, pois eles suportam todos os tipos de serviços e uma interferência negativa nestes podem influenciar todos os outros.

6 - Conclusão e recomendações

A necessidade de (por indicação da União Europeia, que está a preparar uma diretiva nesse sentido) se iniciar um estudo sobre o valor económico de um recurso como a qualidade ecológica da água, é um facto. Este estudo deverá permitir, à administração pública e aos responsáveis políticos, decisões mais fundamentadas e rigorosas. No decorrer deste trabalho concluímos que a limitação à progressão de um trabalho deste tipo, já por si difícil mesmo em condições ideais, é a falta de dados de qualidade.

As bases de dados que nos poderiam permitir a utilização dos modelos teóricos existentes, estão muito incompletas. É possível que parte da informação exista mas não se encontra acessível. Para convencer a maior parte das pessoas a preservar um recurso ecológico ou a melhorá-lo, é realmente melhor sermos capazes de lhes demonstrar qual é o valor do recurso (em unidades monetárias) de modo a que seja fácil para todos percebermos quanto se perde por não cuidarmos do ambiente. Para os biólogos, a tradução em valor monetário de um recurso natural é contra natura. Não se pode atribuir um valor a partir do qual se poderia destruir um rio ou exterminar um habitat natural. Mas o que se pretende ao atribuir valores ao serviço Mas o que se pretende ao atribuir valores ao serviço ecológico, não é pôr em cima da mesa um valor de troca, mas sim valorar o serviço prestado pelo ecossistema, de modo a ser facilmente entendido por todos. O conceito do serviço de ecossistema é importante, terá uma importância acrescida num futuro próximo e quando bem aplicado garante mais transparência no processo de decisão, É uma área do conhecimento onde é urgente apostar e pressionar a administração na obtenção de dados de modo a permitir a sua implementação.

Com tempo e consultando os planos de bacia poderá ser possível compilar um conjunto de dados iniciais que podem vir a permitir uma primeira continuação deste trabalho, agora apresentado, e que deverá funcionar como facilitador e motivador para alguém que se venha a interessar por esta área.

7 Bibliografia

- Água, L. d. (2005). diário da republica. **58/2005**.
- Alcamo, J. (2003). *Ecosystems and human well-being : a framework for assessment /Millennium Ecosystem Assessment*, ISLAND PRESS.
- APHA, A., WPCF (2005). "*Standard Methods for examination of Water and Wastewater*."
- Aproveitamentos Hidroeléctricos de Gouvães, A. T. e. D. "*Relatório de Conformidade Ambiental do Projecto de Execução (RECAPE)*."
- Bagstad, K. J., D. J. Semmens, et al. (2013). "*A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation*." Ecosystem Services **5(0)**: 27-39.
- Bagstad, K. J., D. J. Semmens, et al. (2013). "*Comparing approaches to spatially explicit ecosystem service modeling: A case study from the San Pedro River, Arizona*." Ecosystem Services **5(0)**: 40-50.
- Benis Egoh, E. G. D., Martha B. Dunbar, Joachim Maes, Louise Willemen (2012). *Indicators for mapping ecosystem services: a review*. Luxembourg, European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability: 107.
- Brito, M. T. F. A. G. d. (2009). *Águas superficiais interiores Millennium Ecosystem Assessment, Portuguese Assessment Águas superficiais interiores*.
- Brito, António e Ribeiro Daniel, 2014, Apontamentos do curso avançado em STELLA
- Burkhard, B., deGroot, R., Costanza, R., Seppelt, R., Jørgensen, S.E., Potschin, M., (2012 b)). "*Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services*." Ecological Indicators **21**: 1-6.
- Carvalho, L., R. Cortes, et al. (2011). "*Evaluation of the ecological status of an impaired watershed by using a multi-index approach*." Environmental Monitoring and Assessment **174(1-4)**: 493-508.
- Chamberlain, J. F. a. S. A. M. (2012). "*Policy incentives for switchgrass production using valuation of non-market ecosystem services*." Energy Policy **48**: 526-536.
- COSTA, J. C. J. C. M. L. M. D. E. S. (1998). "*Sintaxonomia da vegetação halocasmofítica das falésias marítimas portuguesas (Crithmo-Staticetea Br.-Bl. 1947)*." Itinera
- Geobotanica **11**: 227-247.
- Costanza, R. and B. C. Patten (1995). "*Defining and predicting sustainability*." Ecological Economics **15(3)**: 193-196.
- Daveau, S. (1985). "Mapas Climaticos de Portugal: nevoeiro e nebulosidade. Contrastes Termicos."
- Decreto lei nº 58/2013, 1º serie, de 22 de março

- Diversity, S. o. t. C. o. B. (2007). "An exploration of tools and methodologies for valuation of biodiversity and biodiversity resources and functions." technical series 28: 71.
- DQA (2000). Directiva 2000/60/CE. Parlamento Europeu e do Conselho
- Favan Sukhdev, H. W., Christoph Schröter-Schlaack, Carsten Nesshöver, Joshua and P. t. B. Bishop, Haripriya Gundimeda, Pushpam Kumar, Ben Simmons e Aude Neuville. (2010). "A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade: integrando a economia da natureza. Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB."
- Fridão, E. d. A. H. d. (2009). EDP. **2- relatório síntese**.
- Gómez-Baggethun, E., R. de Groot, et al. (2010). "The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes." Ecological Economics **69**(6): 1209-1218.
- Grizzetti, B., F. Bouraoui, and G. De Marsily (2008). "Assessing nitrogen pressures on European surface water." Global Biogeochem.
- Haines-Young, R. a. P., M. (2013). "Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4." EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.
- Island Press, W., Ed. (2005). Ecosystems and human well-being: current state and trends. Millennium Ecosystem Assessment.
- Jones, L., A. Provins, et al. (2014). "A review and application of the evidence for nitrogen impacts on ecosystem services." Ecosystem Services **7**(0): 76-88.
- Loomis, J., P. Kent, et al. (2000). "Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey." Ecological Economics **33**(1): 103-117.
- Maes, J., B. Egoh, et al. (2012). "Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union." Ecosystem Services **1**(1): 31-39.
- Mendes, B. (2010). microbiologia da água. microbiologia. Lidel: 506 - 521.
- Mitchell, R. C., and Richard T. Carson (1993). "The Value of Clean Water: The Public's Willingness to Pay for Boatable, Fishable, and Swimmable Quality Water." Water Resources Research **29**(7): 2445-2454.
- Neville Ash, H. B., Claire Brown, Keisha Garcia, Thomas Henrichs, Nicolas, Lucas, Ciara Raudsepp-Hearne, R. David Simpson, Robert Scholes, Thomas P. Tomich, Bhaskar Vira, Monika Zurek (2010). "Ecosystems Human Wellbeing." 285.
- Patrick Durand , L. B. a. P. J. J., Ed. (2011). Nitrogen processes in aquatic ecosystems. Cambridge University, Cambridge University Press.
- Potschin, R. H.-Y. a. M. (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, the European Environment Agency: 34.
- Robert Costanza, R. d. A., Rudolf de Groot, Stephen Farberk, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Suttonkk & Marjan van den Belt (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital." NATURE **387**.

- Rudolf S. de Groot, M. A. W., Roelof M.J. Boumans (2002). "A *typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.*" Ecological Economics 4(The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives): 393–408.
- Smith, D. E. a. V. (2003). "Countervailing Effects of Atrazine on Water Recreation: How do Recreators Evaluate Them?." Water Resources Research 39.
- Spence, P. L. and S. J. Jordan (2013). "Effects of nitrogen inputs on freshwater wetland ecosystem services – A Bayesian network analysis." Journal of Environmental Management 124(0): 91-99.
- Stephen C. Farber, R. C., Matthew A. Wilson (2002). "SPECIAL ISSUE: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives."
- TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London and Washington.

○

Anexos

A - 1 Nomenclatura Corine land cover (CLC)

Nível 1 Nível 2 Nível 3

1 Territórios artificializados

1.1 Tecido urbano

1.1.1 Tecido urbano contínuo

1.1.2 Tecido urbano descontínuo

1.2 Indústria, comércio e transportes

1.2.1 Indústria, comércio e equipamentos gerais

1.2.2 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados

1.2.3 Áreas portuárias

1.2.4 Aeroportos e aeródromos

1.3 Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção

1.3.1 Áreas de extracção de inertes

1.3.2 Áreas de deposição de resíduos

1.3.3 Áreas em construção

1.4 Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas

1.4.1 Espaços verdes urbanos

1.4.2 Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas

2 Áreas agrícolas e

2.1 Culturas temporárias

2.1.1 Culturas temporárias de sequeiro

2.1.2 Culturas temporárias de regadio

2.1.3 Arrozaís

2.2 Culturas permanentes

2.2.1 Vinhas

2.2.2 Pomares

2.2.3 Olivais

2.3 Pastagens permanentes

2.3.1 Pastagens permanentes

2.4 Áreas agrícolas heterogéneas

2.4.1 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes

2.4.2 Sistemas culturais e parcelares complexos

2.4.3 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais agro-florestais

2.4.4 Sistemas agro-florestais

3 Florestas e meios naturais e seminaturais

3.1 Florestas

3.1.1 Florestas de folhosas

3.1.2 Florestas de resinosas

3.1.3 Florestas mistas

3.2 Florestas abertas, vegetação arbustiva e

3.2.1 Vegetação herbácea natural

3.2.2 Matos

3.2.3 Vegetação esclerofila herbácea

3.2.4 Florestas abertas, cortes e novas plantações

3.3 Zonas descobertas e com pouca vegetação

3.3.1 Praias, dunas e areais

3.3.2 Rocha nua

3.3.3 Vegetação esparsa

3.3.4 Áreas áridas

4 Zonas húmidas

4.1 Zonas húmidas interiores

4.1.1 Paúis

4.1.2 Turfeiras

4.2 Zonas húmidas litorais

4.2.1 Sapais

4.2.2 Salinas e aquicultura litoral

4.2.3 Zonas entre-marés

5 Corpos de água

5.1 Águas interiores

5.1.1 Cursos de água

5.1.2 Planos de água

5.2 Águas marinhas e costeiras

5.2.1 Lagoas costeiras

5.2.2 Desembocaduras fluviais

5.2.3 Oceano

A.2 Medidas PGRH 3 para a bacia hidrográfica do rio Tâmega

Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Douro 2009-2015 (*atualmente em vigor*)

Principais medidas previstas para as massas de água da sub-bacia do rio Tâmega relacionadas com o ciclo urbano da água e com a determinação das causas do estado inferior a bom:

- B04.03 - Recolha de informação ao longo da massa de água de acordo com as metodologias definidas pela DQA para verificação do estado da massa de água;
- B04.04 - Levantamento detalhado de pressões;
- B04.28 - Reforço do programa de monitorização das águas superficiais interiores;
- B09.04 - Atualização da cartografia das zonas sensíveis;

- B13.04 - Obras para controlo de afluências indevidas às redes de drenagem de água residuais e à rede hidrográfica – Tâmega;
- B13.06 - Melhorar a gestão técnica dos sistemas e/ ou reabilitação das instalações de tratamento;
- B13.10 - Controlo e redução da poluição tóxica urbana - intervenções nos sistemas de saneamento das Águas do Noroeste na bacia do Tâmega;
- B13.14 - Controlo e redução da poluição tóxica urbana - intervenções nos sistemas de saneamento das Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro na bacia do Tâmega;
- B13.27 - Controlo e redução da poluição tóxica urbana - intervenções nos sistemas de saneamento da Penafiel Verde na bacia do Tâmega;
- B13.30 - Construção/melhoria do nível de tratamento de ETAR das Águas do Noroeste, no âmbito da Diretiva de tratamento de águas residuais urbanas, na bacia do Tâmega;
- B13.31 - Construção/melhoria do nível de tratamento de ETAR das Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, no âmbito da Diretiva de tratamento de águas residuais urbanas, na bacia do Tâmega;
- B13.34 - Construção/melhoria do nível de tratamento de ETAR da Penafiel Verde, no âmbito da Diretiva de tratamento de águas residuais urbanas, na bacia do Tâmega;
- B13.42 - Estudos de afluências indevidas às redes de drenagem urbana e à rede hidrográfica e se necessário o controlo das mesmas;
- A03.01 - Implementação das recomendações resultantes da investigação das causas desconhecidas pelo Estado inferior a Bom.