

# Recursos Hídricos

Volume 38, N.º 2 | Dezembro 2017



**ASSOCIAÇÃO  
PORTUGUESA DOS  
RECURSOS HÍDRICOS**

**Proprietário**

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

**Diretor**

António Gonçalves Henriques

**Diretores Associados**

Ana Katila Ribeiro

Fernanda Santiago

Maria Manuela Portela

**Conselho Editorial**

António Betâmio de Almeida

António Guerreiro de Brito

António Pinheiro

António Trigo Teixeira

Catarina Roseta Palma

Fernando Veloso Gomes

Francisco Ferreira

Francisco Nunes Correia

Jaime Melo Baptista

João Pedroso de Lima

Jorge Matos

José Matos

Luís Ribeiro

Manuel Rijo

Maria da Conceição Cunha

Paulo Canelas de Castro

Rafaela Matos

Rodrigo Maia

Rodrigo Oliveira

Rui Santos

Teresa Ferreira

**Secretariado**

Ana Estêvão

André Cardoso

Conceição Martins

**Redação e Administração**

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

a/c LNEC

Av. do Brasil, 101

1700-066 Lisboa

PORTUGAL

Telefone 21 844 34 28 Fax 21 844 30 17

NIF nº 501063706

**Design**

Ana Rosária Gonçalves

**Periodicidade**

Quadrimestral

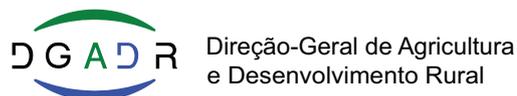
Os artigos publicados na Recursos Hídricos são identificados com DOI (Digital Object Identifier).

Registo na ERC nº 125584

Depósito legal nº 5838/84

ISSN 0870-1741

## Apoiantes



# INDÍCE

## IN MEMORIAM

*António Eira Leitão* ..... 5

## EDITORIAL

*Francisco Taveira Pinto* ..... 7

## EM DESTAQUE ..... 9

*Seca, incêndios, alterações climáticas e “especialistas” emergentes*

António Gonçalves Henriques ..... 11

*Regadio: binómio água e energia*

José Nuncio, Carina Arranja ..... 17

*Da Investigação à Inovação*

Maria da Conceição Cunha ..... 25

*Liderar a transição - Plano de ação para a economia circular. O Desafio dos Recursos Hídricos*

Ana Sofia Vaz, Inês Costa, Luísa Pinheiro, Carla Pinto, Hugo Lobo, Francisco Vilar, Anabela

Carvalho..... 29

## CT&I (CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO) ..... 37

*Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil*

Anderson Nascimento do Vasco, Antenor de Oliveira Aguiar Netto , Fernando Falco Pruski ... 39

*Uso e qualidade da água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso (Moju, Pará, Brasil)*

Cláudia Miranda, Leonilde Rosa, Jorge Bonito, Alcinês Júnior, Nelson Veiga, Francisco Oliveira,

Bruno Barros ..... 51

*Avaliação de recursos hídricos subterrâneos através de análise de hidrogramas e o abastecimento público do Concelho de Manteigas (Centro de Portugal)*

J. L. Mendonça, F. Serranito, P. Fontes, N. Reis, P. Alves e J. Duarte ..... 63

*Prognóstico ambiental da qualidade de água de uma lagoa costeira sufocada e urbana após ligação com o mar via dutos afogados*

Lidiane dos Santos Lima, Paulo Cesar Colonna Rosman ..... 81

## DIVULGAÇÃO ..... 99

*Vultos Portugueses em Hidráulica e Recursos Hídricos - Pedro Arsénio Nunes*

Nuno Gonçalves Henriques ..... 101

## NOTÍCIAS ..... 113



## António Eira Leitão

30.05.1941 – 05.09.2017

A causa comum tão eloquentemente escrita e sempre atual, redigida pelos sócios fundadores da APRH nos seus estatutos, foi responsável pelos fortes laços afetivos que vieram a juntar tantos profissionais que trabalharam nestes 40 anos na nossa Associação: *a promoção do progresso do conhecimento e a discussão dos problemas relativos aos recursos hídricos nos domínios do planeamento, da gestão, do desenvolvimento, da administração, da ciência, da tecnologia, da investigação e do ensino, bem como a dinamização e o apoio a iniciativas que contribuísem para a cooperação e para o diálogo entre os diferentes intervenientes com vista à resolução dos problemas existentes no domínio dos recursos hídricos.*

Tudo começou em agosto de 1977. António Eira Leitão fez parte desse início e dessa visão, à época, holística e inovadora. Foi Presidente da Comissão Diretiva da APRH (1979/82), Presidente do seu Conselho Geral (1982/88) e Presidente da Comissão Especializada de Hidroenergia (1994/99). O seu contínuo empenho, dedicação e paixão pelas temáticas do âmbito da APRH, bem como o envolvimento pessoal com aqueles com quem trabalhou, são reconhecidas por todos os que tiveram o privilégio de com ele conviver. A APRH quis prestar-lhe uma saudosa e última homenagem, honrando a sua memória através deste breve *in memoriam*.

António Eira Leitão era Engenheiro Civil pelo Instituto Superior Técnico, da Universidade Técnica de Lisboa (1965). Como consultor foi corresponsável por múltiplos estudos de viabilidade, planos gerais de desenvolvimento e projetos de engenharia, sobretudo nos domínios da avaliação e utilização de recursos hídricos, obras hidráulicas fluviais, controlo da poluição e saneamento básico (1966/93). Foi gestor da empresa de consultores de engenharia - Hidrotécnica Portuguesa, Consultores para

Estudos e Projetos, Lda. (1971/75 e 1982/88) e, mais tarde, fundador e gestor de empresas de produção de energias renováveis - Hidroerg, Projetos Energéticos, Lda. (desde 1989) e suas associadas.

Das suas funções públicas, releva o cargo de subsecretário de Estado das Obras Públicas do IV Governo Provisório (1975) e, muito pertinentemente, a sua atividade no Conselho Nacional da Água (CNA) de que foi o primeiro Secretário-Geral. Aí imprimiu, durante perto de 20 anos (1994/2013), uma orientação e um dinamismo que definitivamente contribuíram para o prestígio deste órgão independente de consulta do Governo português no domínio do planeamento e da gestão sustentável da água. No CNA assumiu a função de relator-coordenador nos pareceres sobre o Plano Nacional da Água e sobre a Lei da Água. Paralelamente participou e coordenou diversos Grupos de Trabalho, criados a nível governamental, para a reformulação da orgânica do Ambiente (1979) e da orgânica de Gestão dos Recursos Hídricos em Portugal (1985/86), para a reforma do Quadro Legal e Institucional da Gestão da Água (2000/2002) e para a organização institucional e operacionalização da Gestão dos Recursos Hídricos (2014/2015).

A sua atividade associativa foi muito para além da APRH: Vice-Presidente do Grupo Consultivo da CAIPA - Comissão da Associação Industrial Portuguesa para o Ambiente (1984/1990); primeiro Presidente da Direção da APREN – Associação Portuguesa dos Produtores Independentes de Energia Eléctrica de Fontes Renováveis (1997/2000), membro do seu Conselho Geral (desde 2003) e Presidente da sua Mesa da Assembleia Geral (desde 2005); Membro do Conselho de Administração da ESHA – *European Small Hydropower Association* (1997/2004); Vice-Presidente da Direção da APE – Associação Portuguesa de Energia (1999/2000) e Membro do Conselho Geral da APEMETA – Associação Portuguesa de Empresas de Tecnologias Ambientais (desde 2008). Homem com vivos interesses cívicos era membro da SEDES – Associação para o Desenvolvimento Económico e Social, da Sociedade de Geografia de Lisboa

e da Academia de Engenharia. Foi agraciado com o grau de Comendador da Ordem Nacional do Infante D. Henrique (2006) e recebeu um Prémio Carreira da Fundação AIP (2014).

Foi diretor ou coordenador de largas dezenas de estudos, nomeadamente no âmbito do planeamento e aproveitamento integrado de recursos naturais e da produção de energia elétrica de origem renovável. Na impossibilidade de os enumerar a todos, destacam-se os dois primeiros e os dois últimos: Projeto das infraestruturas e edificações sociais do Centro Urbano de Cahora - Bassa, no Songo em Moçambique (1969/71); Plano geral de desenvolvimento económico da bacia hidrográfica do rio Malema, na Zambézia em Moçambique (1971/73); seleção de locais, definição de soluções, estudos de viabilidade técnico-económica e estudos de impactes ou

de incidências ambientais de cinco dezenas de aproveitamentos hidroelétricos situados no continente português (1989/2015); e gestão global dos projetos e das empreitadas de construção de sete aproveitamentos hidroelétricos – Ribadouro, Covas do Barroso, Bragado, Pinhel, Vales, Agilde e Ruivães – e de três parques eólicos – Bulgueira, Sirigo e Chã do Guilhado (1991/2016).

Personalidade incontornável no setor da água em Portugal foi autor de uma centena e meia de artigos, conferências, comunicações e relatos sobre matérias da sua especialidade no âmbito do planeamento, gestão e utilização integrada de recursos hídricos e da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.

António Eira Leitão deixou uma marca relevante na APRH que cumpre honrar neste momento.

## APRH 40 Anos

A APRH comemora este ano quatro décadas de uma atividade sempre inovadora, intensa e diversificada, tendo envolvido dezenas de Associados e colaboradores que contribuíram para esta história de sucesso.

De facto, desde a sua origem que a APRH tem como missão nuclear a defesa dos Recursos Hídricos, como constitui também a origem que suporta a existência de quase tudo, e sem os quais não haveria vida.

Essa visão permitiu que a APRH se constituísse também como um fórum aberto a várias áreas do saber, multidisciplinares e igualmente relevantes, materializado através das suas dezenas de atividades de cariz internacional, nacional, regional e das suas comissões especializadas e grupos de trabalho.

Nesse sentido é de salientar as áreas especializadas nas quais a APRH trabalha e que constitui um exemplo único em termos associativos nacionais: Águas Subterrâneas; Água e Energia; Qualidade da Água e dos Ecossistemas; Zonas Costeiras e do Mar; Serviços de Água; Água, Agricultura e Floresta; Hidráulica Fluvial; Atividades Culturais.

É notório e consensual o mérito que a APRH teve, ao longo destes 40 anos, em mobilizar pessoas para a discussão de problemas vários em distintas áreas técnicas e científicas e de ter contribuído para manter o tema dos Recursos Hídricos “vivo” e de ter evitado que não fosse totalmente “esquecido” na “nuvem” de outras abordagens e perspectivas políticas. Essa função não pode nunca ser esquecida, por muitas dificuldades que existam e se possam perspectivar num futuro próximo. Desistir desse papel não está no DNA da APRH.

Contudo, é também evidente o atual desconforto geral pela inexistência de uma Autoridade Nacional exclusiva para a Gestão dos Recursos Hídricos, que existe em vários outros países, alguns até menos desenvolvidos, e que se justifica pelos problemas atuais em relação à qualidade e quantidade da água, aos eventos extremos nos sistemas fluviais e costeiros, à dificuldade de gestão dos usos múltiplos, etc. Depois dos avanços significativos das

últimas décadas em relação aos Recursos Hídricos, este tema perdeu a visibilidade e a importância que devia merecer.

Hoje, que se começa a falar a nível Europeu da revisão da Diretiva Quadro da Água, que passaram mais de 10 anos de aplicação da Lei da Água em Portugal, cuja aplicação e interpretação merece várias críticas objetivas e depois de vários ciclos de planeamento dos Recursos Hídricos, devemos questionarmo-nos. O que correu mal e o que pode ser melhorado e como?

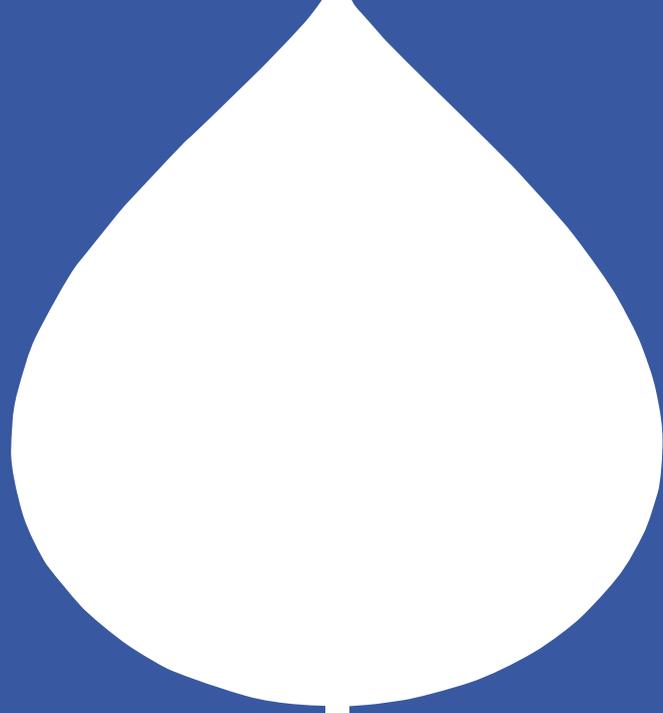
A Revista Recursos Hídricos faz parte também desta História e neste novo formato procura-se adaptarmo-nos aos novos tempos e enquadramento. Um agradecimento especial a todos os que têm colaborado neste projeto.

Somos APRH há muitos anos e por isso, a Gestão dos Recursos Hídricos e os seus problemas associados constituem para nós algo de muito especial, que nos preocupa e nos motiva nesta tarefa Associativa.

Para finalizar e por tudo isto, parabéns a todos os Associados que contribuíram, ao longo destes 40 anos, para o sucesso e para a vida da APRH. Contamos convosco para o futuro e para uma maior afirmação da APRH.

*Francisco Taveira Pinto*  
*Presidente da Comissão Diretiva da APRH*





**em destaque**



## Seca, incêndios, alterações climáticas e “especialistas” emergentes

António Gonçalves Henriques

Professor Convidado do Instituto Superior Técnico. Investigador Coordenador aposentado do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Director da Revista Recursos Hídricos

Atravessamos um período particularmente crítico de escassez de precipitação, a que se associou uma época de incêndios extraordinariamente gravosa.

A escassez de precipitação levou a que o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) declarasse todo o território de Portugal Continental em situação de seca meteorológica, com cerca de 75% em “seca extrema” e 25% em “seca severa” em 31 de outubro. Esta classificação é baseada no índice PDSI (*Palmer Drought Severity Index*, implementado e calibrado para Portugal Continental)<sup>1</sup>.

A situação de seca meteorológica, que era já sentida no início da época de incêndios, em junho<sup>2</sup>, associada a elevadas temperaturas do ar, baixa humidade e ventos por vezes fortes, determinou uma época de incêndios extremamente gravosa, caracterizada pelo elevadíssimo número de vítimas e pela enorme extensão da área ardida, mais de cinco vezes a média da área ardida por ano entre 2007 e 2016. Destaca-se o incêndio iniciado em 17 de junho em Pedrógão Grande, o mais mortífero do país e o 12.º mais mortífero a nível mundial desde

1900<sup>3</sup>, e os incêndios que deflagraram no dia 15 de outubro, até 17 de outubro, no centro e norte do país, com 45 vítimas mortais e mais de 54 mil hectares de área ardida, num total que excedeu 440 incêndios ativos. Estes incêndios de outubro coincidiram com a passagem do furacão *Ophelia* pelo Atlântico Nordeste, ao largo da costa de Portugal Continental, que deverá ter determinado os ventos fortes, sobretudo na faixa litoral, que causaram a rápida propagação do fogo.

Vários cientistas têm vindo a admitir que as alterações climáticas são um dos principais fatores da intensificação dos fogos na Península Ibérica e do alargamento da época dos incêndios, antes restrita aos meses de julho e agosto, que se estende

---

3 - O incêndio de Pedrogão Grande propagou-se aos concelhos vizinhos de Castanheira de Pêra, Figueiró dos Vinhos, Ansião, Alvaiázere, Penela e Sertã. No mesmo dia, 17 de junho, deflagrou outro incêndio de grandes proporções no concelho de Góis, que se propagou aos concelhos de Pampilhosa da Serra, Arganil e Oleiros. No dia 20 de junho uma das frentes de fogo do incêndio de Pedrógão Grande juntou-se ao incêndio de Góis, ocasionando uma área ardida contígua de mais de 46 mil hectares (Assembleia da República, Comissão Técnica Independente, *Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrogão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre 17 e 24 de junho de 2017*, outubro de 2017). Segundo ([https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_natural\\_disasters\\_by\\_death\\_toll#Deadliest\\_wildfires\\_.2F\\_bushfires](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_disasters_by_death_toll#Deadliest_wildfires_.2F_bushfires), consultado em 2017-11-27), foi o 12º mais mortífero desde 1900.

1 - IPMA>O Clima>Monitorização da Seca, (<http://www.ipma.pt/opencms/pt/oclima/observatorio.secas/>, consultado em 2017-11-26).

2 - Em junho verificava-se já uma situação de seca meteorológica generalizada, severa em mais de 72% do território de Portugal Continental e extrema em mais de 7%, segundo o Boletim Climatológico de Junho publicado pelo IPMA.

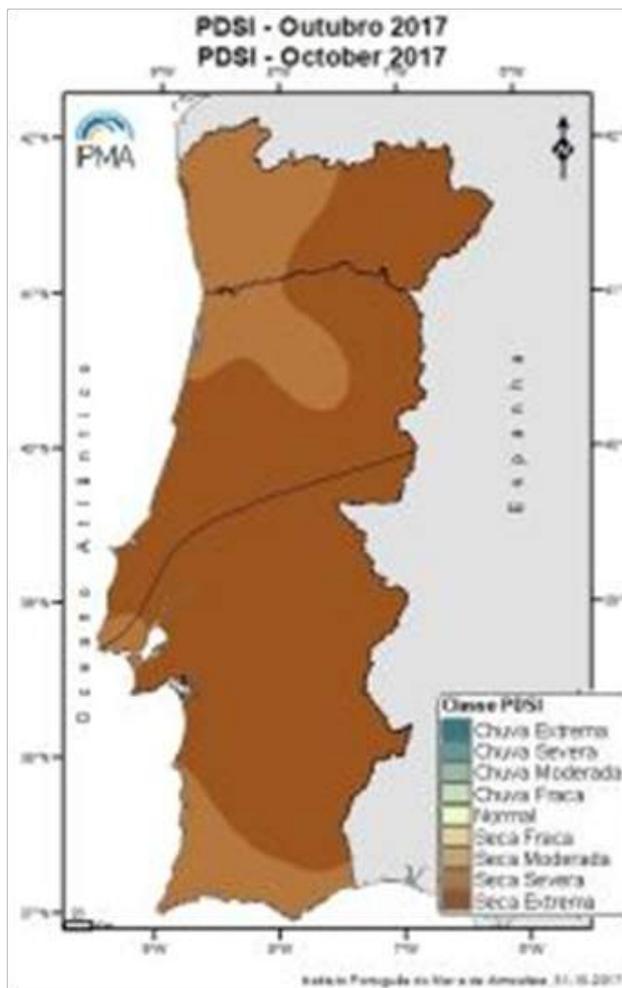


Figura 1 - Classificação da situação da seca meteorológica em Portugal Continental em 31 de Outubro de 2017 pelo índice PDSI (fonte: IPMA vd. Nota 1).

de junho a outubro<sup>4</sup>.

Na divulgação das causas e das consequências previsíveis da seca e das relações com os incêndios, a comunicação social foi entrevistando, suscitando comentários e recolhendo depoimentos de variados “especialistas” emergentes que avançaram, mais ou menos convictamente, trivialidades ou explicações e argumentos frequentemente fantasiosos, quando não estapafúrdios.

Tendo em conta a importância dos comportamentos da população, nomeadamente no que respeita à mitigação dos efeitos das secas, é primordial a divulgação de informação correta, nomeadamente por parte das autoridades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, que estiveram quase sempre ausentes. Um dos exemplos a seguir é o do sector da saúde, em que as autoridades (Direção-Geral da Saúde) estão sempre presentes quando necessário,

4 - Harris, Chris. *Climate change blamed as EU's forest fires more than double*. EuroNews. 16 October 2017.

prestando informação rigorosa e simultaneamente acessível sobre todas as questões relevantes.

Uma das principais questões suscetível de gerar os maiores equívocos é o próprio conceito de seca. Foi amplamente divulgada a informação produzida pelo IPMA relativa à situação de seca meteorológica, definida como “a ausência prolongada ou o défice acentuado de precipitação”<sup>5</sup>. Este conceito deve ser distinguido do de seca hidrológica, definido como “um período de tempo anormalmente seco e suficientemente prolongado para causar a escassez de água caracterizada por uma redução significativa dos caudais dos cursos de água, dos níveis dos lagos e albufeiras ou dos níveis das águas subterrâneas para valores inferiores aos das condições normais, bem como o esgotamento da água do solo”<sup>6</sup>. Os conceitos de seca meteorológica e de seca hidrológica são distintos: podemos ter situações em que a uma seca meteorológica não corresponde uma seca hidrológica e, inversamente, uma seca hidrológica pode não estar associada necessariamente a uma seca meteorológica. Para os responsáveis pela gestão dos recursos hídricos e para os utilizadores da água em geral é relevante o conceito de seca hidrológica e não o de seca meteorológica que tem vindo a ser divulgado.

Por exemplo, no ano hidrológico transato, no caso do Algarve, o regular abastecimento de água e a rega não conduziram a uma redução significativa dos níveis de água das albufeiras para valores inferiores aos das condições normais no final do Verão, período de maior procura. Pelo contrário, em outubro de 2017 as albufeiras de Odeleite e Beliche, origens de água do Sotavento Algarvio, bem como a albufeira do Funcho, no Barlavento Algarvio, tinham volumes de água armazenados superiores aos valores médios de outubro<sup>7</sup>. Os volumes de água armazenados nas albufeiras do Arade (Silves) e da Bravura (Odiáxere) no mesmo mês de outubro de 2017 eram só ligeiramente inferiores aos valores médios de outubro. Assim, a situação do Algarve, nas áreas servidas pelos sistemas hidráulicos de Barlavento e de Sotavento, e pelas albufeiras do Arade e da Bravura, embora

5 - World Meteorological Organization, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2012, *International Glossary of Hydrology*, WMO-No. 385, Geneva, Switzerland, n.º 430 (tradução nossa).

6 - Idem, n.º 738 (tradução nossa).

7 - SNIRH, Sistema Nacional de Recursos Hídricos, Boletim de Armazenamento nas Albufeiras de Portugal Continental. <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3> (consultado em 2017-11-26).



Figura 2 - Trajetória do furacão *Ophelia*, que se inicia como tempestade tropical a sudoeste dos Açores, e se intensifica no percurso para Nordeste, atingindo a categoria de furacão da classe 3 da escala de *Saffir-Simpson* na passagem a sul dos Açores, diminuindo depois de intensidade.

Fonte: *Cyclonebiskit*. ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ophelia\\_2017\\_track.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ophelia_2017_track.png), consultado em 2017-11-27)

Quadro 1 - Armazenamento de água nas albufeiras dos sistemas de abastecimento do Algarve no final do Verão de 2017

Albufeira	Armazenamento em percentagem da capacidade total da albufeira		Capacidade da albufeira (hm <sup>3</sup> )	
	em outubro 2017	médio em outubro	total	útil
Odeleite	70,3	65,5	130	117
Beliche	62,3	54,5	48,0	47,6
Odelouca	37,5	n. d.	157	128
Funcho	72,3	38,9	47,7	42,7
Arade	18,2	20,5	28,4	26,7
Bravura	51,3	58,8	34,8	32,3

tenha sido classificada como de seca meteorológica severa, não corresponde, de facto, a uma situação de seca hidrológica.

Conclusão idêntica pode ser obtida para as áreas servidas por algumas das grandes albufeiras, como Alqueva, Aguieira, Castelo do Bode e Cabril (vd. Quadro 2).

Em contrapartida, em algumas regiões a seca

meteorológica extrema está associada a uma seca hidrológica extrema também, como é o caso da bacia hidrográfica do Rio Dão, com a falha da albufeira de Fagilde no abastecimento de água aos concelhos de Viseu, Mangualde, Nelas e parte do concelho de Penalva do Castelo.

A falta de uma especificação do conceito de seca hidrológica para o conjunto do território de

Quadro 2 - Armazenamento de água em grandes albufeiras no final do Verão de 2017

Albufeira	Armazenamento em percentagem da capacidade total da albufeira		Capacidade da albufeira (hm <sup>3</sup> )	
	em outubro 2017	médio em outubro	total	útil
Alqueva	69,5	75,7	4150	3150
Aguieira	53,2	67,8	423	304
Castelo de Bode	72,1	77,6	1095	900
Cabril	40,8	49,0	720	615

Portugal Continental determinou que não tivesse sido possível delimitar as áreas em situação de seca hidrológica, de forma análoga à classificação das áreas de seca meteorológica, o que seria, sem dúvida, de muito maior utilidade para os responsáveis pela gestão dos recursos hídricos e para os utilizadores da água em geral, como se referiu.

Em nossa opinião, o conceito de seca hidrológica para o conjunto do território de Portugal Continental deveria ser especificado no Plano Nacional da Água, e aplicado a cada bacia hidrográfica nos Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica em função das reservas hídricas existentes, nomeadamente albufeiras e aquíferos.

Em relação às questões relacionadas com as secas, o Plano Nacional da Água de 2015 (aprovado pelo Decreto-Lei n.º 76/2016 de 9 de novembro) apresenta apenas referências genéricas e superficiais, de utilidade questionável. Os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica limitam-se a proclamar a necessidade de tomar medidas para mitigar os efeitos das secas, sem qualquer concretização operacional. De facto, para cada bacia hidrográfica, deveriam ser definidos limiares de base mensal das reservas hídricas que quando não fossem excedidos deveriam determinar que fossem desencadeadas as medidas relevantes para mitigar os efeitos das secas. A antecipação dessas medidas permitiria reduzir os custos, não só económicos, mas também sociais e ambientais, associados à mitigação das secas. A título de exemplo das muitas lacunas neste domínio destaca-se a ausência de menção, no Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis, da insuficiência da albufeira de Fagilde para assegurar o abastecimento de água aos concelhos de Viseu, Mangualde, Nelas e parte de Penalva do Castelo com um mínimo de fiabilidade aceitável, que se verificou no final do período de estiagem, embora este facto fosse conhecido há várias décadas. Como consequência desta lacuna, não são previstas no referido plano medidas para resolver esse problema, e sejam agora aventadas soluções de recurso de duvidosa eficácia.

Outra questão relevante refere-se à poluição das massas de água com as cinzas dos incêndios, que contêm várias substâncias perigosas para a saúde humana e para o ambiente, nomeadamente metais pesados como mercúrio, alumínio, manganésio, ferro e chumbo<sup>8</sup>. As cinzas dos incêndios que ocorreram depositaram-se em áreas muito extensas e são suscetíveis de afetar diversas massas de água, superficiais e subterrâneas. Torna-se, por isso, necessário e urgente delimitar as massas de água potencialmente atingidas e proceder ao reforço dos programas de monitorização da qualidade da água de forma a contemplar aquelas substâncias, designadamente para garantir a proteção das captações de água destinada ao consumo humano. Sendo Portugal atingido por incêndios florestais todos os anos, com maior ou menor gravidade, esta questão deveria ser também devidamente tratada no Plano Nacional da Água e nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica.

Finalmente, refere-se a relação entre os incêndios que ocorreram entre 15 e 17 de outubro e a passagem do furacão *Ophelia* ao largo da costa de Portugal Continental, a que parece ter sido dada pouca importância a nível nacional, embora tenha tido ampla cobertura nos órgãos de informação a nível externo. O furacão *Ophelia*, o décimo furacão

8 - Campos, I.; C. Vale; N. Abrantes; J.J. Keizera; P. Pereira 2015. "Effects of wildfire on mercury mobilisation in eucalypt and pine forests", *CATENA*, Vol. 131, August 2015, pp. 149-159.

Webster, J. P.; T. Kane; D. Obrist; J. Ryan; G.R. Aiken 2016. "Estimating mercury emissions resulting from wildfire in forests of the Western United States", *Science of the Total Environment*, February 2016.

Cinnirella, S.; N. Pirrone 2006. "Spatial and temporal distributions of mercury emissions from forest fires in Mediterranean region and Russian federation", *Atmospheric Environment*, Vol. 40, Iss. 38, December 2006, pp. 7346-7361.

Pereira, P.; X. Úbeda 2010. "Spatial distribution of heavy metals released from ashes after a wildfire", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol. 18, Iss. 1, 2010.

consecutivo e o sexto maior da temporada de furacões no Atlântico de 2017, teve características excepcionais, já que foi o maior furacão registado no Atlântico oriental. Os ventos muito fortes associados à passagem do furacão e o tempo excepcionalmente quente e seco de outubro provocou a rápida propagação do fogo, dificultando muito ou impedindo mesmo o combate aos incêndios, determinando a enorme extensão da área ardida. Admite-se que o aquecimento da superfície do Atlântico devido às alterações climáticas possa tornar relativamente mais frequente a propagação de furacões como o *Ophelia* na Europa Ocidental, particularmente em Portugal, fenómeno a que não estávamos habituados<sup>9</sup>. Esta questão deve merecer uma atenção particular pelas graves repercussões que pode vir a ter não só na intensificação de incêndios, mas também pelos efeitos na geração de cheias rápidas de grande magnitude.

---

9 - Haarsma, R. 2013. “The future will bring hurricanes to Europe”, *The Conversation*, July 28, 2013 (<https://theconversation.com/the-future-will-bring-hurricanes-to-europe-16339>, consultado em 2017-11-27).

Bates, R.; R. McGrath 2017. “What Caused Storm Ophelia?”, The Royal Irish Academy Climate Change and Environmental Sciences Committee, 25 October 2017 (<https://www.ria.ie/news/climate-change-and-environmental-sciences-committee/what-caused-storm-ophelia>, consultado em 2017-11-27).



# Regadio: binómio água e energia

## *Irrigation: water and energy nexus*

José Nuncio<sup>1</sup>, Carina Arranja<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrónomo, Presidente da FENAREG

<sup>2</sup> Engenheira dos Recursos Hídricos, Secretária Geral da FENAREG Associado APRH n.º 209

### RESUMO

No âmbito da publicação da revista “Recursos Hídricos”, a Federação Nacional de Regantes de Portugal (FENAREG) resolveu trazer um conjunto de informação do sector do regadio em Portugal e abordar o tema do binómio água e energia, lançando o desafio a outras publicações, no âmbito desta revista, que abordem esta temática com aspetos de carater mais técnico e científico.

Sem qualquer pretensão de artigo técnico, pois não é esse o âmbito da FENAREG, abordamos a experiência da Federação e das Associações de Regantes, ligada à evolução da situação do regadio e os principais resultados alcançados nos últimos anos bem como os principais desafios.

### ABSTRACT

*In the context of the journal “Recursos Hídricos”, the Portuguese National Federation of Irrigators (FENAREG) decided to bring a set of information about the irrigation sector in Portugal and to address the topic of the water and energy nexus, launching the challenge to other publications within the scope of this journal, that approach this subject with aspects of more technical and scientific character.*

*In this, without any pretension of a technical article as this is not the scope of FENAREG, this text addresses the experience of the Federation and Associations of Irrigators, linked to the evolution of the irrigation situation and the main results achieved in recent years as well as the main challenges.*

### 1. INTRODUÇÃO

Em primeiro lugar, importa introduzir quem é a FENAREG e o que faz.

A FENAREG é uma associação de utilidade pública, sem fins lucrativos, de âmbito nacional, fundada em 2005, que **agrupa entidades dedicadas à gestão da água para rega**, tanto superficial como subterrânea, com o objetivo de unir esforços e vontades na defesa dos seus legítimos interesses e na promoção do desenvolvimento sustentável e da competitividade do regadio. **Representa 90% do regadio organizado em Portugal**, conta com 28 associados que reúnem mais de 22 mil agricultores regantes e 135.000 hectares de regadio.

A Federação participa ativamente em diversas organizações do setor, quer a nível nacional quer internacional, nomeadamente no Conselho Nacional da Água, na **European Union of Water Management Associations** (EUWMA), na **Euro-Mediterranean Irrigators Community** (EIC), no Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (COTR) e na Confederação dos Agricultores de Portugal (CAP). Mais recentemente ajudou a fundar a **IRRIGANTS d'EUROPE**, a primeira associação Europeia com vista a defender os interesses do regadio junto das instâncias europeias e para explicar à Sociedade a importância do regadio na produção de alimentos. A FENAREG assumiu

a presidência da **IRRIGANTS d'EUROPE**, que foi constituída a 14 de Junho e representa já 7,7 dos 10,2 milhões de hectares de regadio da Europa.

## 2. EVOLUÇÃO DA SITUAÇÃO DO REGADIO E OS PRINCIPAIS RESULTADOS ALCANÇADOS NOS ÚLTIMOS ANOS

A importância do regadio é inequívoca para o nosso País e para a competitividade da agricultura, setor que constitui um contributo importante para a economia nacional.

A oportunidade atual está claramente numa **agricultura que consiga produzir em quantidade, com qualidade, de uma forma eficiente, com objetivos centrados na segurança alimentar e tendo em conta as necessidades do consumidor**. Essa agricultura passa pelo regadio, uma vez que, no clima mediterrânico, a irregularidade e imprevisibilidade da precipitação obriga necessariamente a regar para garantir o sucesso das produções agrícolas, sendo também estratégico na mitigação dos impactos das alterações climáticas e para o ambiente.

Contextualizando, em números o regadio em Portugal, **mais de metade das explorações agrícolas dependem da água para a agricultura**. Nos 3,7 milhões de hectares de superfície agrícola utilizável (SAU), estão equipados para regadio 540.000 ha, o que equivale a 15% da SAU (INE, 2009). A proporção

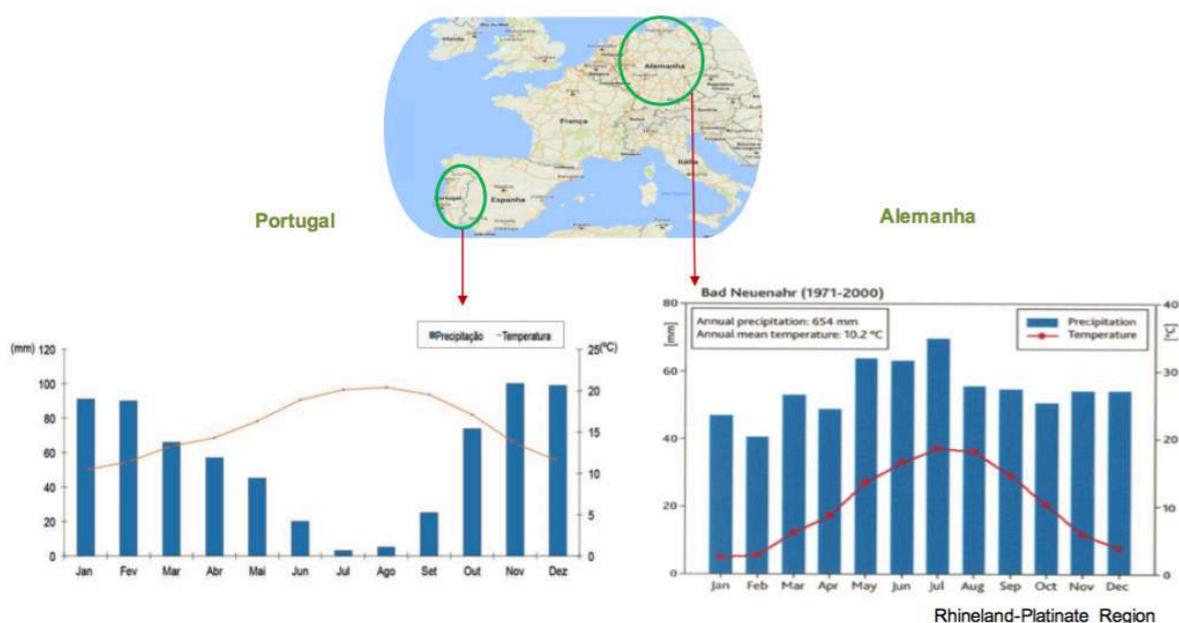
de 87% de superfície irrigável que é efetivamente regada, demonstra o aproveitamento elevado das infraestruturas de rega existentes.

No uso da água, a agricultura teve uma evolução notória. Na última década o setor  **aumentou em 70% a produtividade da água** (GPP, 2013). O investimento na modernização e na reabilitação dos nossos sistemas de regadio conduziram, nas últimas décadas, a uma **redução de 50% no consumo unitário de água por hectare regado** (DGADR, 2014).

O peso da agricultura no uso da água é atualmente de **63%** (GPP, 2013), quando em 2001 era de 75% (INAG, 2001). A este propósito, vale a pena referir, que em Portugal, para responder às necessidades de todos os setores utilizadores de água (anualmente cerca de 5.183 hm<sup>3</sup>) **apenas se utilizam 20% das disponibilidades totais de água** (INAG, 2001). Em termos de **eficiência global da utilização da água, o regadio atinge cerca de 60-65%** (DGADR, 2014). De referir o contributo da fração não utilizada que retorna ao ecossistema, sem alterações significativas de qualidade (DGADR, 2014), recarregando linhas de água superficiais e aquíferos.

Apesar desta notável evolução, existe ainda um longo percurso.

Da área de regadio nacional, cerca de 194 000 ha são regadios coletivos públicos, de iniciativa estatal. Destes, 41% foram construídos entre 1938 e 1974, exigindo intervenção urgente que garanta melhoria de funcionamento.



**Figura 1.** Comparação da precipitação e temperatura em Portugal e na Alemanha (DGADR, 2016 e Ministry for Economic Affairs, 2015).



Figura 2. Utilização da água em Portugal (INAG, 2001; GPP, 2013 e APA, 2016).

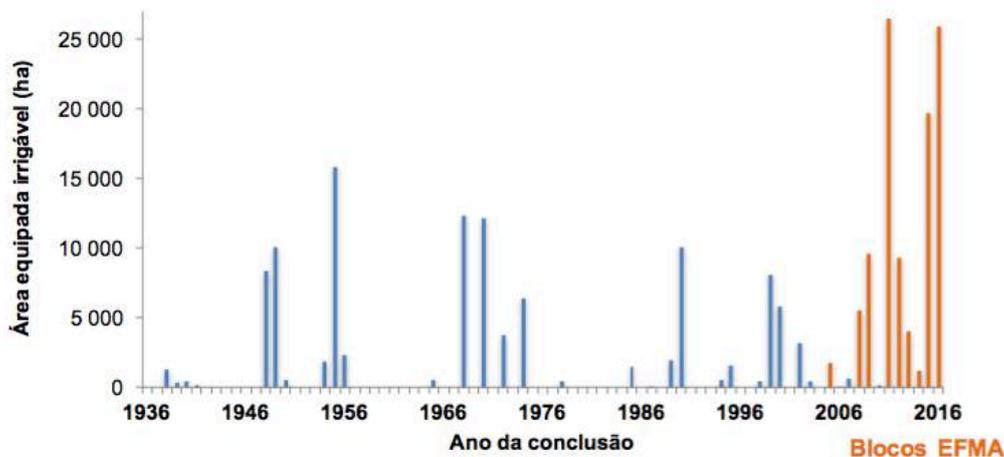


Figura 3. Cronologia de construção dos regadios coletivos públicos (DGADR, 2014, Serralheiro, 2013 e EDIA, 2016).

No anterior quadro comunitário de apoio, ProDeR, os investimentos significaram apenas 10% das necessidades totais para a melhoria do funcionamento destas obras de rega, a maioria com mais de 40 anos de funcionamento.

**Apostar fortemente numa política de desenvolvimento do regadio**, apoiando a **reabilitação e modernização dos regadios** existentes e a criação de **novos regadios**, deve ser a estratégia a adotar no nosso País, promovendo práticas de gestão eficiente das redes de distribuição de água, combinados com soluções energeticamente eficientes. Ao nível do agricultor/empresa agrícola, continuar a apoiar os investimentos em regadio, incluindo a substituição/renovação de equipamentos de rega e as instalações complementares, para aumento da eficiência na utilização da energia. **A nova agroambiental do uso eficiente da água**, Ação 7.5 do PDR2020, faz todo o sentido num país mediterrâneo como o nosso, em que a água é condição de competitividade para a

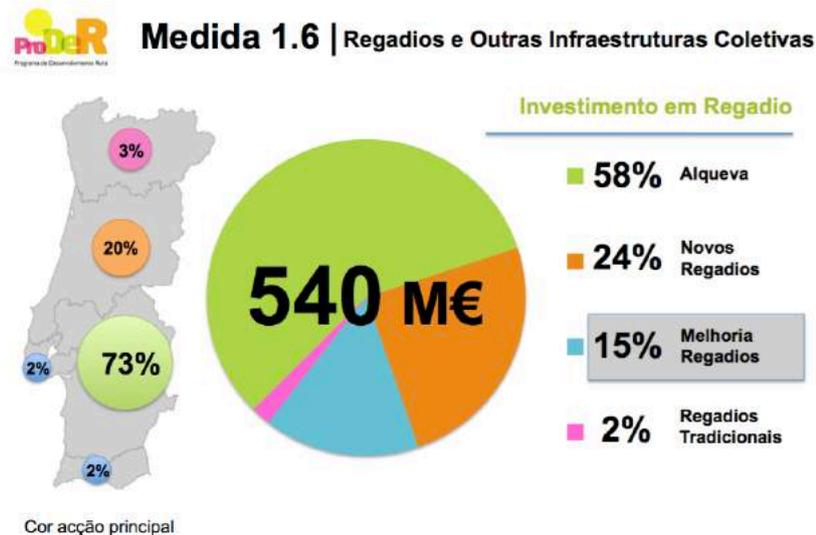
agricultura, e é sem dúvida um grande passo em frente, devendo esta medida constituir efetivamente um incentivo, no sentido da certificação do regante e da atividade do regadio. Para termos uma ideia da importância desta medida, a adesão foi de cerca de 80.000 ha a 100.000 ha, representando  $\frac{1}{4}$  da área total regada nacional.

Coordenar com os **instrumentos de gestão dos recursos hídricos** os horizontes de ampliação dos regadios existentes e a criação de novos regadios será crucial à sustentabilidade da produção nacional de alimentos.

### 3. PRINCIPAIS DESAFIOS FUTUROS

Olhando para o futuro, os desafios que se colocam ao setor são cada vez mais exigentes. A **atividade agrícola deve intensificar-se** de forma sustentada para superar as metas que o mundo atual estabelece: **satisfazer as necessidades alimentares crescentes**.

O crescimento populacional mundial previsto pressupõe que a agricultura **produza mais 50%**



**Figura 4.** Investimento na Medida 1.6 “Regadios e Outras Infraestruturas Coletivas”, do ProDeR 2007-2013 (PRODER, 2014).

em 2030 e mais 70% em 2050. Mas isto só se pode conseguir em regadio devido ao seu efeito multiplicador:

**- 1 hectare de regadio produz 5 a 6 vezes mais do que 1 hectare de sequeiro.**

Ou em alternativa, para responder a este aumento de necessidade de alimentos, teríamos de dispor de mais território, em detrimento de áreas de floresta e áreas naturais, pois o efeito do crescimento demográfico conduzirá, até 2030, ao **aumento do consumo de água em 30%** e do **consumo de energia em 45%** (MAOTE, 2014).

Em resumo, a agricultura de regadio enfrenta um complexo mas entusiasmante desafio:

**Deve produzir mais e melhores alimentos, gerindo os recursos de forma equilibrada e sustentada, nomeadamente aumentando a eficiência no binómio água/energia.**

O regadio ocupa 13% da SAU e é **responsável por 60% da produção agrícola nacional**. Assim, a maior parte do aumento da produção virá do regadio.

Para tal considera-se necessário:

Alterar a injusta imagem que é transmitida à sociedade sobre a atividade agrícola, de regadio em particular. A administração e as organizações do setor, devem analisar e divulgar as **múltiplas externalidades positivas do regadio** das quais beneficia toda a sociedade, diferenciando as do tipo social, económico e ambiental. Bens públicos que a agricultura produz e que a sociedade preza, mas que ainda não encontrou forma direta de os remunerar aos agricultores.

**A melhoria da eficiência no uso da água e da energia**, com investimento na modernização dos regadios é condição necessária, mas não

suficiente. Qualquer transformação hidráulica relacionada com o regadio deve ter garantida a sustentabilidade da exploração da infraestrutura ao nível dos consumos energéticos.

O grau combinado de consumo de água e de energia deve estar na base do planeamento da modernização dos nossos sistemas de transporte e distribuição de água para rega.

As principais questões que se colocam são:

- A que nível de eficiência de uso da água pretendemos chegar?
- Com que consumo de energia?

Portugal não será deficitário em água, como fundamentado no início desta reflexão, mas é deficitário em energia, área em que existe potencial de melhoria de eficiência.

Vejam os números.

A evolução do padrão de utilização de água foi realizada com o recurso a fontes de energia. Reduzir para metade o consumo de água fez aumentar exponencialmente o consumo de energia no uso da água, chegando a representar 75% (SIR, 2017) do seu custo. Nos anos 60 o consumo unitário de energia por hectare era de 200 kWh/ha, sendo atualmente de 1.534 kWh/ha. **O consumo de energia subiu o equivalente a 670%** (SIR, 2017).

**No topo das prioridades do setor está assim a necessidade de reduzir a fatura da eletricidade** através de um tarifário adequado à atividade da agricultura de regadio.

O efeito sazonal da rega reflete-se no consumo de eletricidade, que se encontra concentrada em seis meses do ano.

Num estudo levado a cabo pela FENAREG, para analisar os consumos e tarifas de eletricidade dos

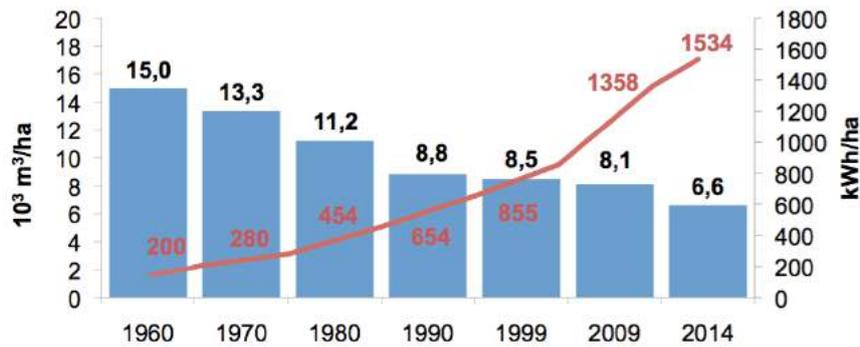


Figura 5. Consumos unitários de água e energia no regadio (SIR, 2017).

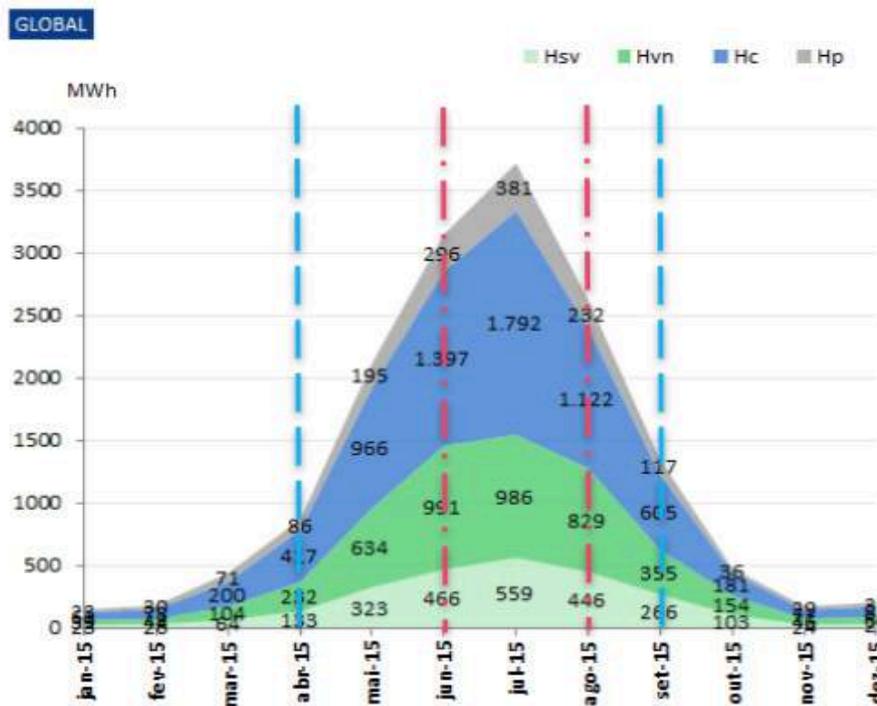


Figura 6. Tipologia do consumo anual de eletricidade, por período tarifário, num sistema de regadio com distribuição em pressão (IMValores sv e Green Egg, 2016).

Legenda: Hsv –super vazio, Hvn –vazio normal, Hc – cheia, Hp – ponta

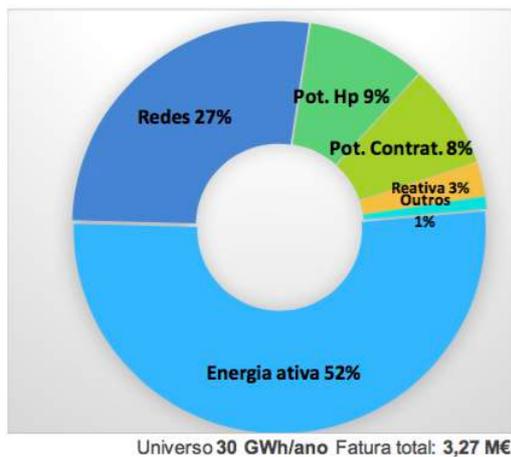
seus associados, foi identificado que **os meses de Abril a Setembro representam 90% dos consumos de eletricidade** (IMValores sv e Green Egg, 2016). Só nos meses de Junho a Agosto concentra-se mais de metade (61%) do consumo de eletricidade.

Analisando os números para **um sistema de distribuição de água em pressão, uma dotação de 3.000 m³/ha corresponde, em média, a uma intensidade energética de 0,34 kWh/m³, o que representa um custo de 0,02 €/m³ de energia ativa.**

As elevadas taxas fixas da eletricidade (taxas de potência e potência de hora de ponta), representam 20 a 30% da fatura. A potência contratada é cobrada

aos agricultores durante todo o ano, quando na realidade a atividade só ocorre durante 6 meses por ano. A limitação está em que a legislação nacional, que apenas permite uma única redução de potência em cada ano de contrato, o que se torna inviável adaptar às necessidades do setor. É necessário implementar um conjunto de medidas, entre elas a  **sazonalidade nos contratos de potência de energia para a agricultura de regadio**, no sentido de o serviço prestado ser ajustado à atividade. Esta medida de elementar justiça, apesar de relevante para a agricultura, em termos globais representa apenas 2% do consumo total de eletricidade em Portugal (DGEG, 2012).

Existe assim um conjunto de medidas que podem



**Figura 7.** Componentes da fatura de eletricidade, num sistema de regadio com distribuição em pressão (IMValores sv e Green Egg, 2016)

ser adotadas, mas que dependem necessariamente de vontade política. A FENAREG, nesse sentido, propõe:

- Possibilidade de **modificar taxa de potência contratada duas vezes num ano**: ter um contrato na época de maior consumo e outro muito inferior nos meses em que não se rega;
- ou
- **Pagar pela potência real registada** e não pela teórica contratada.

É também importante desagregar os custos energéticos no setor e possibilitar condições de igualdade com os outros países da União Europeia, com preços de energia mais competitivos e onde foram estabelecidas medidas para responder a essa sazonalidade, como França e outros países que estão a avançar nesse sentido, nomeadamente Itália e Espanha.

Poderá haver ainda uma solução através da eventual aplicação do regime de interruptibilidade também para as utilizações agrícolas, como é possibilitado à grande indústria.

É ainda importante existir, em Portugal, um programa específico de apoio à implementação das energias renováveis no setor agrícola. Soluções de autoconsumo para suprir picos de consumo de energia em horas ponta, podem ser bastante eficazes.

Para além destas medidas de cariz político, existe ainda um conjunto de ações que o setor do regadio pode desenvolver para melhorar a eficiência energética e reduzir a fatura de eletricidade.

A FENAREG, com os seus Associados, está a implantar nesse sentido um conjunto de medidas

de atuação, com diferentes prioridades. Realizar **auditorias** para conhecer o perfil de consumo das estações elevatórias e **otimizar faturas** através da melhor opção do ciclo horário de tarifário e da adequação de potências ao funcionamento dos equipamentos.

A agregação dos interesses dos vários Associados para conseguir **melhores contratos de tarifas** de fornecimento de energia, avaliando diferentes opções de mercado, nomeadamente o liberalizado é outro passo importante.

Procurar opções de **investimento para aumentar a eficiência** no consumo de energia, quer para mitigar custos com energia ativa, quer para soluções de autoconsumo, recorrendo às fontes de energia renováveis.

Para além destas, pode-se ainda atuar internamente sobre o **tarifário do fornecimento de água, ajustando-o ao sobrecusto energético** dos períodos tarifários de eletricidade, em particular nas horas de ponta.

Na temática do equilíbrio do uso da água e da energia, a FENAREG está também envolvida num conjunto de iniciativas, quer a nível nacional, quer internacional.

De destacar o **WEAM4i - Water and Energy Advanced Management for Irrigation**, ([www.weam4i.eu](http://www.weam4i.eu)) projeto Europeu financiado pela Comissão Europeia no âmbito do 7.º Programa-Quadro. WEAM4i, constituído por 17 parceiros provenientes de 5 países: Portugal, Espanha, Alemanha, Holanda e França e que terminará em 2017. O principal conceito a ser demonstrado neste projeto é a **gestão da procura de água de acordo com a oferta da energia disponível**, propondo-se conseguir resultados de aumento da eficiência energética (kWh /m<sup>3</sup>) na ordem dos 10-15%, enquanto reduz os custos operacionais (€/m<sup>3</sup>) dos sistemas de regadio, fornecer casos de sucesso para ajudar a superar as atuais barreiras que impedem os utilizadores de água de aceder ao mercado de energia "interativa" e criar oportunidades de mercado para as inovações WEAM4i, dentro e fora da Europa.

#### 4. INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES

A FENAREG **desafia** a Administração para que, num futuro próximo, sejam desenvolvidos instrumentos complementares para melhorar a sustentabilidade do regadio nacional, nomeadamente através da concretização de uma estratégia para o regadio através do **Plano Nacional do Regadio**, público e privado.

Propõe-se também a ativação de um fórum participativo, o **Conselho Nacional do Regadio**,

para debater os temas do setor, nomeadamente o enquadramento legal dos aproveitamentos hidroagrícolas, onde é necessário ultrapassar condicionantes para o bom funcionamento dessas obras e haver uma coordenação com os instrumentos de uso da água e da energia.

Criar o **Observatório do Regadio Português** é outro desafio que a FENAREG coloca à Administração e para o qual se disponibiliza ativamente a contribuir. Ter uma plataforma que permita dar a conhecer à sociedade a forma como se gere o regadio no nosso País, no contexto da sua sustentabilidade económica, social e ambiental é fundamental para que, no futuro, haja o reconhecimento das múltiplas externalidades positivas do regadio e das quais toda a sociedade beneficia. Meio para dar a conhecer os bens públicos produzidos pelos agricultores que a sociedade deve encontrar forma de os remunerar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA (2016). *Plano Nacional da Água*. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa
- DGADR (2014). *Estratégia para o Regadio Público 2014-2020*. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Lisboa
- DGADR (2016). *O uso eficiente da água e o índice de intensificação do regadio*. Publicado no âmbito da Revista Cultivar - Cadernos de Análise e Prospetiva – edição n.º 5, Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (GPP). Lisboa
- DGEG (2012). *Consumo total de eletricidade em Portugal*. Direção Geral de Energia e Geologia. Lisboa
- EDIA (2016). *Relatórios de atividade*. Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas de Alqueva, S.A. Beja
- GPP (2013). *Programa de Desenvolvimento Rural 2014-2020 - Indicadores específicos de contexto*. Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral. Lisboa
- IMValores sv e Green Egg (2016). *Análise de consumos, tarifas e acesso a mercados de eletricidade*. Estudo realizado no âmbito dos Associados da FENAREG. Lisboa
- INAG (2001). *Plano Nacional da Água*. Instituto da Água. Lisboa
- INE (2009). *Recenseamento da Agricultura 2009*. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa
- MAOTE (2014). *Crescimento Verde*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa
- Ministry for Economic Affairs (2015). *Vineyard Soils of Rhineland-Platinat*. Alemanha
- PRODER (2014). *Relatório de Execução ProDeR 2007-2013*. Lisboa
- Serralheiro, R. (2013). ICAAM, Universidade de Évora. Évora
- SIR (2017). *Sistema de Informação do Regadio*. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Lisboa



## Da Investigação à Inovação

*Maria da Conceição Cunha*

*Professora da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra*

A globalização e a correspondente agudização da necessidade de competirmos tornou mágica a palavra inovação. Contudo é importante haver cautela com a confusão revelada em muitos discursos, a vários níveis, entre investigação e inovação. Começamos pela etimologia de inovação, palavra que é derivada do latim *innovationem* ou ação de *innovare* (*in* – “em” e o verbo *novare* com a raiz *novus* - “novo”). O termo tem por essência a novidade, como seria de esperar (*nihil novo sub sole!*), refere-se a algo recente que difere do existente ou que traz a mudança, e aplica-se agora a produtos que merecem o entusiasmo do mercado. Nos últimos anos, parece ganhar corpo a ideia de que a aplicação de fundos destinados à investigação tem de ser norteadada pela obtenção de benefícios diretos, e dir-se-ia imediatos, para o crescimento económico. Está aqui subjacente a orientação de tornar prioritária uma investigação planeada em temas selecionados especificamente para a geração célere de produtos comercializáveis. Neste contexto é fundamental não esquecermos que será a investigação de hoje que irá alimentar a inovação de amanhã. É preciso deixar claro que a obrigação de se obterem resultados com prontidão, que estas preocupações a curto termo refletem, entra em contradição com a essência do processo de investigação fundamental e a imprevisibilidade dos seus frutos. Acabe-se com a possibilidade de especular, com o ceticismo, com o valor da curiosidade, e o futuro ficará seguramente empobrecido. A inovação é fundamental para a criação de riqueza, mas a ideia de que se passa da investigação à inovação de forma direta é ilusória, e pode ser perversa, no processo de afetação de investimento para a realização de investigação.

A criatividade e as invenções estão ligadas à investigação, mas a inovação precisa de um ecossistema próprio, em que existe uma cultura organizacional própria, e o clima social tem de favorecer a abertura a novas práticas e ao empreendedorismo. É longo o caminho a percorrer desde a investigação fundamental até à disponibilização de novos produtos que tenham perspectivas de sucesso, desde a definição do conceito que vai levar à inovação até às decisões sobre os investimentos que irão ser usados tendo em conta estudos de mercado. A inovação depende das descobertas científicas para desenvolver novos produtos. Tem necessidade de diferentes capacidades, obedece a diferentes motivações e acontece também em ambientes diferentes. No entanto, apesar de em muitos casos serem utilizadas expressões relativas ao apoio à investigação, está na realidade a pensar-se em inovação e em investimentos que não permitirão alcançar os benefícios de longo termo potencialmente decorrentes da investigação fundamental. Poderemos dizer que a inovação é um resultado e a investigação é um processo que idealmente dará lugar a novas descobertas, tratando-se de momentos diferentes (por vezes bem distantes) – através da investigação, o investimento vai ser transformado em conhecimento e tecnologias; e, através da inovação, o conhecimento e as tecnologias vão ser transformados em riqueza. Em ambas as atividades estaremos a formatar o nosso futuro. Mas esse futuro muito vai depender desse processo de formatação. Estamos a falar de dois mundos diferentes com atores distintos. Poderemos estar a enfrentar uma nova realidade em que a obrigação primeira cometida às universidades

(aqui englobando todas as instituições que se dedicam à investigação) será a de dar respostas rápidas às necessidades da sociedade. As universidades vêm a viver, de há uns anos a esta parte, tempos muito confusos, que entre nós adquirem uma particular expressão no contexto da crise financeira que atravessamos. Uma evolução centrada no conhecimento avançado, hoje patente nas sociedades mais desenvolvidas, recolocou as universidades no seu papel de centros de produção de conhecimento, para além de manterem a sua função de ministrar formação de qualidade.

As expectativas geradas em torno das universidades são cada vez mais elevadas, e o apelo ao aprofundamento do seu papel no aumento da capacidade competitiva dos países é cada vez mais enfatizado. Felizmente que assim é, pois desta forma se reconhece o papel que estas instituições, que se encontram entre as mais antigas do mundo, têm desempenhado. Mas este estatuto foi conseguido porque tem permanecido aquilo que são os seus valores fundamentais, os seus ideais, o seu "ethos". Depositam-se grandes esperanças nas universidades, especialmente em tempos de crise, pelo seu contributo para a preservação desses valores, pelo seu carácter de perenidade, por serem guardiãs do saber acumulado, e pela sua capacidade de geração e transmissão de novo conhecimento (em que se pode salientar o seu papel para assegurarem superioridade tecnológica e serem centros promotores de sociedades mais criativas). No entanto, nos tempos atuais, por várias ordens de razões, devem ser alvo de grande atenção e preocupação no que respeita à missão que lhes pode vir a estar destinada. Por paradoxal que possa parecer, é nestes tempos que uma das suas características intrínsecas, ou seja, a sua independência, mais tem sido beliscada.

Se é verdade que cumpre às universidades a formação dos quadros que terão a seu cargo as funções mais exigentes na sociedade, não se pode perder de vista o seu papel de precursoras no desenvolvimento do conhecimento que fará progredir essa mesma sociedade. A dependência das universidades relativamente aos financiamentos do estado pode colocá-las, se a sua autonomia não for devidamente acautelada, como meros instrumentos de políticas que podem desvirtuar a sua missão. Digamos que, com os holofotes hoje apontados às universidades, se criou um ambiente em que há como que um "contrato" com a sociedade cujo cumprimento exige a procura incessante de financiamentos externos.

Historicamente, as universidades sempre dependeram de alguém, de alguma entidade, para

conseguir esses fundos: de mecenas, da indústria, da Comissão Europeia, da NATO, etc., e em termos nacionais da Fundação para a Ciência e a Tecnologia. A maioria destes financiadores define as prioridades e as linhas orientadoras relativamente à atribuição de recursos. Poderá então dizer-se que o problema da autonomia versus dependência não é novo e que sempre foi ilusória a autonomia universitária. No entanto, os desafios com que hoje se deparam vieram trazer novas dimensões a este problema.

Poderemos estar a trilhar um caminho perigoso, de consequências desastrosas para o futuro das universidades e, portanto, das nossas sociedades. As universidades não podem ser instituições estáticas desligadas dos problemas que emergem na sociedade, mas a sua história milenar está, desde há alguns anos, a ser agitada por movimentos sobre os quais importa refletir. São solicitadas às universidades mudanças apressadas e aparentemente "indispensáveis", expondo-as a pressões e levando a que algumas das suas próprias funções sejam definidas externamente. Os alertas são variados e começaram a surgir obras como a de Martha Nussbaum ("Not for Profit: Why Democracy Needs the Humanities", 2010) chamando a atenção para as mudanças radicais que, por força dessa suposta forma de vencer os desafios da competitividade, podem ocorrer.

Se, no caso da obra de Nussbaum, o foco é posto no desconforto criado pela competição entre áreas de saber, desembocando no papel secundário atribuído às humanidades em detrimento das ciências, engenharia e medicina, são estas últimas áreas que poderão estar em causa com as tendências presentes de afetação de recursos. Aqui não se trata de falta de interesse nas áreas de ciências, engenharia e medicina, mas do conjunto de mecanismos que poderão vir a ser criados e que são susceptíveis de colocar em causa o seu desenvolvimento.

Vários documentos produzidos por diversas instituições nacionais e internacionais no que respeita à investigação e ao ensino superior, introduzem novas questões que importa ponderar atentamente. De facto, a globalização e a correspondente competição por fundos estão a provocar um maior escrutínio das universidades ao nível dos países, e, no nosso caso, ao nível europeu. E este escrutínio está invariavelmente a centrar-se na forma como elas melhor podem prosseguir os objectivos económicos. Poderá estar a acentuar-se o pendor para o controlo das universidades por parte das instituições governamentais, visando influenciar a respetiva atividade. A este propósito é interessante verificar a atitude das economias emergentes em

relação ao apoio à investigação fundamental, como evidencia o recente relatório da UNESCO (“UNESCO Science Report: towards 2030”, 2015). Essa atitude reflete uma preocupação com a sustentabilidade da inovação. A título de exemplo, a República da Coreia pretende ultrapassar um passado em que desenvolveu a sua economia essencialmente com base na “imitação” procurando criar capacidades para a realização de investigação fundamental. De um crescimento de 18% entre 2001 e 2011 no investimento em investigação fundamental passou a um valor de 40% em 2017. O slogan “We want to be the ‘First mover’ and not the ‘Fast follower’” era visível recentemente em muitas publicações de grande circulação na Coreia do Sul. Entre 2006 e 2012, no quadro da “National Policy on Science, Technology & Innovation (2013-2020)”, a Malásia aumentou o seu investimento em investigação fundamental de 11% para 34% do investimento global em I&D, tendo simultaneamente criado cinco universidades predominantemente destinadas à investigação.

Note-se também que a Suíça, por exemplo, estando na linha da frente na produção de inovação, confere 30% do orçamento de I&D à investigação fundamental.

Em 2014, o “The Professional Institute of the Public Service of Canada” demonstrou igualmente a sua preocupação pelas novas preferências de financiamento de investigação dirigida a fins comerciais de curto prazo sobre a investigação fundamental.

Depois de analisar vários países, o relatório da UNESCO acima referido considera que o movimento no sentido do investimento essencialmente focado em investigação com objetivos de retorno rápido é uma opção pouco prudente.

Estamos numa encruzilhada em que poderá estar a desenhar-se um processo de favorecimento da investigação sem risco, ou seja aquela que permite resultados imediatos, em detrimento da respiração e criatividade inerentes a este processo, pelo facto de as decisões serem tomadas por quem não tem a perceção de como funciona a ciência e o que é importante para as universidades. Só a criação de conhecimento com total abertura e questionamento constante poderá garantir a perpetuidade das universidades e, conseqüentemente, o seu contributo positivo para o desenvolvimento das sociedades. Uma possível alteração da missão das universidades fará com que estas percam vitalidade e que, por isso, progressivamente as sociedades se tornem mais frágeis e vulneráveis.



# Liderar a transição - Plano de ação para a economia circular. O Desafio dos Recursos Hídricos

Ana Sofia Vaz<sup>1</sup>, Inês Costa<sup>2</sup>, Luísa Pinheiro<sup>3</sup>, Carla Pinto<sup>4</sup>, Hugo Lobo<sup>5</sup>, Francisco Vilar<sup>6</sup>, Anabela Carvalho<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Agência Portuguesa do Ambiente,

<sup>2</sup> Ministério do Ambiente,

<sup>3</sup> Secretaria de Estado do Ambiente,

<sup>4</sup> Direção Geral das Atividades Económicas,

<sup>5</sup> Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural,

<sup>6</sup> Ministério da Economia,

<sup>7</sup> Fundação para a Ciência e Tecnologia

## 1. O QUE É A ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular é hoje tema recorrente na agenda internacional. Para garantir o crescimento sustentável na União Europeia (UE), é necessário assegurar que a utilização dos seus recursos é feita de uma forma mais inteligente e sustentável. Dado o caráter finito de muitos recursos naturais, temos de procurar um modo que seja ambiental e economicamente sustentável para a sua utilização. É também do interesse económico das empresas utilizar da melhor forma possível os seus recursos.

Numa economia circular:

- o valor dos produtos e materiais é mantido durante o maior tempo possível;
- a produção de resíduos e a utilização de recursos reduzem-se ao mínimo e,
- quando os produtos atingem o final da sua vida útil, os recursos mantêm-se na economia para serem reutilizados/reciclados e voltarem a gerar valor

A disrupção necessária face à economia linear «**extrair-fabricar-descartar**» exige uma concertação e alinhamento estratégico: afinal, vivemos numa era de globalização e cadeias de valor de escala mundial. Esta mudança, difícil porém necessária, irá exigir um esforço significativo de todas as partes – não só de produtores e

consumidores, mas também dos próprios governos. A posição conjunta de organizações governamentais internacionais e o seu reconhecimento de que uma economia circular se assume como um importante veículo para alcançar objetivos e metas – de crescimento verde, de desenvolvimento sustentável, de mitigação de alterações climáticas, de resiliência social, ambiental e económica – são um sinal importante de alerta para desencadear a discussão, aprofundar conhecimento e motivar agentes económicos e governamentais a procurar também esse alinhamento. O impulso internacional conferido por iniciativas de âmbito global e Europeu, tais como:

- O Acordo de Paris - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC)<sup>1</sup>
  - Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - **Nações Unidas**<sup>2</sup>
  - “Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular”- União Europeia<sup>3</sup>
- colocam a economia circular no cerne das

1 - [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php)

2 - <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

3 - [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-15-6203\\_pt.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_pt.htm)

oportunidades e desafios para uma sociedade mais inclusiva, sustentável e resiliente.

Com o Acordo de Paris a política global em matéria de alterações climáticas entrou numa nova fase. Limitar o aquecimento global a valores inferiores a 2°C (e mesmo 1,5°C) acima dos níveis pré-industriais obriga a reduções substanciais das emissões globais de gases com efeito de estufa (GEE).

A economia circular é hoje tida pela Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC) como um tema chave já que mais de 50% das emissões estão relacionadas com a extração e transformação de matérias-primas<sup>4</sup>. A melhoria da eficiência na utilização dos recursos, a maior reutilização e reciclagem, e uma redução absoluta da utilização de matérias-primas primárias devem, por conseguinte, tornar-se um elemento-chave da política climática, a par da redução de emissões de poluentes, mitigação e adaptação.

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS) adotados em 2015 apresentam 169 metas ambiciosas que norteiam uma mudança sistémica, que exige o envolvimento de múltiplos *stakeholders* - para colher benefícios sociais e ambientais a par dos económicos.

Prosseguir uma economia circular contribui para muitos dos objetivos assumidos, sobretudo no **âmbito do** ODS 12 – Produção e Consumo Responsável. No entanto, a promoção da regeneração de capital natural, o impacto no ambiente construído, na redução de emissões, na redução de plástico e os efeitos económicos, de inovação e emprego associados produz também efeitos noutros ODS.

Também a Comissão Europeia encara a transição para a economia circular como uma oportunidade para modernizar e transformar a Europa no seu caminho para uma competitividade sustentável e resiliente, com benefícios tanto para o ambiente como para a economia. No final de 2015, a CE adotou um novo e ambicioso pacote “Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular” com o objetivo de reforçar a competitividade, promover o desenvolvimento sustentável e potenciar o emprego através de uma aposta clara na economia circular. Os principais benefícios relacionam-se com a segurança no aprovisionamento de materiais (sobretudo os críticos) e eficiência no seu uso, resultando na diminuição das quantidades absolutas de fluxos de recursos. Estes objetivos vão

de mãos dadas com progresso socioeconómico e a diminuição da pressão ambiental em termos absolutos.

## 2. PORQUE PRECISAMOS DE TRANSITAR PARA A ECONOMIA CIRCULAR

Em 2030 seremos 8,5 mil milhões de pessoas no planeta. Mais de metade (56%) serão consumidores de classe média. Mais de metade (59,5%) estarão a viver nos grandes centros urbanos<sup>5</sup>. A revolução industrial espoletou este curso: PIB global crescente, menos pessoas em pobreza extrema (em 1981: 44% da população mundial, 2015:10%<sup>6</sup>) melhores condições de vida, crescimento populacional.

O sistema operativo deste desenvolvimento é linear: extrair recursos, que processamos e transformamos em produtos, que depois vendemos e que, após a sua vida útil, descartamos. E esta lógica é válida quer se trate de uma refeição, livro, máquina de lavar, carro ou edifício.

A economia global funciona à razão de 65 mil milhões de toneladas de materiais extraídos ao ano. Em 2050, será mais do dobro: em média, cada habitante irá usar mais 70% de materiais do que necessitava em 2005.

E com mais consumo, mais emissões (de GEE, poluentes atmosféricos, resíduos **líquidos e sólidos**): desde a extração, ao longo de toda a cadeia de produção, ao consumidor e fim de vida.

Metade das emissões de GEE a nível mundial devem-se à produção de materiais básicos e 70% dos resíduos associados a um produto são gerados antes do produto ser utilizado<sup>4</sup>. A este ritmo, em 2050 seriam precisos recursos equivalentes a 3 planetas para sustentar o nosso modo de vida atual. Esta evolução tem efeitos: nos últimos 15 anos os preços das matérias-primas primárias têm evoluído de forma crescente e são cada vez mais voláteis. Neste momento, atravessamos um período em que os preços estão em queda, mas as tendências estruturais são suficientemente fortes para que instituições como o Banco Mundial, as Nações Unidas ou a Agência Europeia de Ambiente apontem para o aumento destes valores nas suas projeções.

A Europa encontra-se numa posição frágil do ponto de vista material: é dependente de importações de matérias-primas primárias, e possui apenas

4 - Circle Economy & Ecofys. 2016. Implementing Circular Economy Globally Makes Paris Targets Achievable. Disponível em: <http://www.ecofys.com/en/publications/circular-economy-white-paper-ecofys-circle-economy>

5 - UNEP–International Resource Panel. 2016. Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. Disponível em: <http://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency>

6 - Max Roser & Esteban Ortiz-Ospina (2017) – ‘Global Extreme Poverty’. Published online at [OurWorldInData.org](http://OurWorldInData.org). Retrieved from: <https://ourworldindata.org/extreme-poverty/>

9% de capacidade interna para suprir 54 dos materiais essenciais para a sua economia (*Raw Material Scoreboard 2016*<sup>7</sup>). Com uma procura tendencialmente crescente, é notório o esforço para a consciencialização de que uma economia linear não é sustentável no médio longo prazo, sendo por isso necessário investir nas políticas, no conhecimento e no desenvolvimento de soluções que possibilitem vários ciclos de utilização dos materiais.

A escassez de água está a tornar-se igualmente uma preocupação transversal à UE. O crescimento populacional aumenta a necessidade de água e as alterações climáticas agravam a escassez de água a nível regional e apesar de 72% da superfície terrestre ser coberta por água menos de 3% desta água é adequada para beber ou irrigar.

Em toda a UE, a escassez de água e as secas aumentaram dramaticamente nas últimas décadas e é provável que se tornem mais frequentes e mais severas no futuro. A escassez de água afeta pelo menos 11% da população europeia e 17% do território da UE (*Water Scarcity and Droughts in the European Union*<sup>8</sup>).

Na Europa são tratadas anualmente mais de 40000 milhões m<sup>3</sup> de águas residuais mas apenas 964 milhões m<sup>3</sup> destas águas residuais tratadas são reutilizadas (EC - *Water Reuse – Background and policy context*<sup>9</sup>).

### 3. E QUAL É A SITUAÇÃO EM PORTUGAL?

O indicador de produtividade material demonstra que Portugal não evoluiu tão favoravelmente como, por exemplo, Espanha e a Irlanda - países que em 2005 estavam no mesmo patamar de produtividade que o português. Em 10 anos, Portugal melhorou 23%; a UE 30%; e a Espanha, 134%.

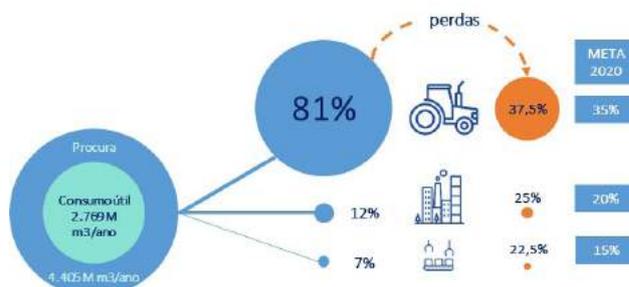
Em 2015, a produtividade cifrou-se nos €1,10 de PIB por kg de materiais consumidos, 20% superior ao verificado em 2010 e correspondente a metade da produtividade da EU. No entanto, e para o mesmo período, a produtividade material da UE cresceu 30%, o que nos coloca atualmente na metade inferior do *ranking* de produtividade ao nível europeu.

No que se refere à utilização da água em Portugal, considerando as últimas estimativas (Trabalhos preparatórios do PNA – Plano Nacional da Água) em 2009 a procura efetiva de água cifrou-se nos

4255 milhões de m<sup>3</sup> de água, em que apenas 65% se traduziu num consumo útil.

Relativamente **às ineficiências, o setor industrial é aquele em que os valores são mais baixos** sendo de aproximadamente 22,5%. Já o setor urbano e agrícola, apresentam ineficiências na ordem dos 25% e 37,5% respetivamente. Por outro lado, existe a estimativa de que em Portugal são reutilizadas anualmente apenas 6,1 milhões de m<sup>3</sup> de águas residuais tratadas (*Optimising water reuse in the EU. Final Report – Part 1, 2015*<sup>10</sup>), colocando-os na metade inferior do ranking europeu.

Apesar da evolução positiva na redução do desperdício os três setores ainda se encontram longe das metas estabelecidas no Programa Nacional do Uso Eficiente de Água 2020<sup>11</sup>. O setor industrial será aquele que em termos de percentuais terá um maior esforço já que será necessário reduzir de 22,5% para 15% traduzindo-se numa redução de 7 pp. Quanto ao setor urbano a redução necessária será de 5 pp relativamente ao valor observado em 2009 para que se atinja a meta estabelecida para 2020 de 20%. Por último no que respeita ao setor agrícola terá de reduzir a ineficiência de 37,5% para 35%, sendo o setor que em termos percentuais está mais perto da meta.



**Figura 1.** Evolução do consumo de água | Principais consumidores/utilizadores | Perdas vs Metas 2020<sup>12</sup>.

Já a taxa de águas residuais tratadas reutilizadas apresenta uma percentagem muito pequena, não obstante a evolução positiva que apresentou ao longo do período compreendido entre 2011 a 2014. No entanto, tem um potencial de crescimento elevado que permitirá aumentar a utilização eficiente deste recurso. No que se refere à valorização das lamas apesar dos valores observado, verifica-se que ainda há espaço para uma melhoria de forma a retirar o maior valor deste subproduto.

7 - <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1ee65e21-9ac4-11e6-868c-01aa75ed71a1>

8 - [http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water\\_scarcity.pdf](http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water_scarcity.pdf)

9 - <http://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>

10 - [http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO\\_IA%20on%20water%20reuse\\_Final%20Part%20I.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO_IA%20on%20water%20reuse_Final%20Part%20I.pdf)

11 - <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&ub2ref=9&sub3ref=860>

12 - Trabalhos preparatórios do PNA – Plano Nacional da Água

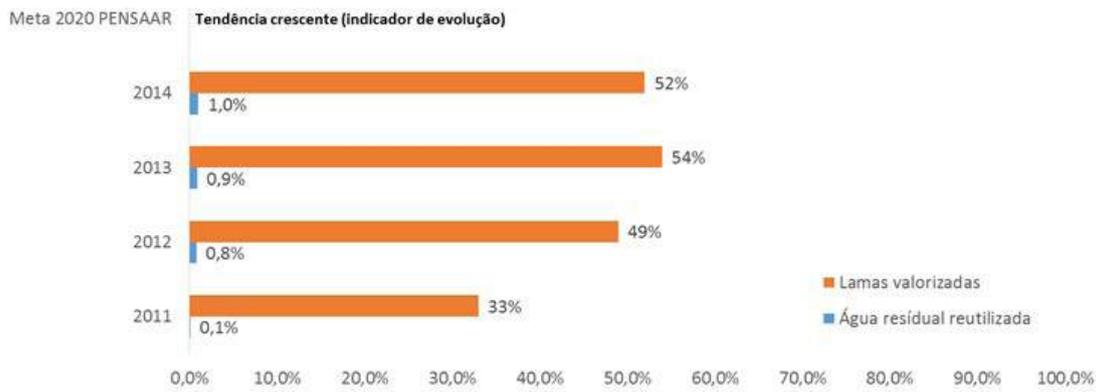


Figura 2. Valorização de recursos e subprodutos (%)13.

#### 4. TRANSIÇÃO EM AÇÃO

Com vista a garantir a transição para a economia circular, Portugal à semelhança com o desenvolvido noutros países Europeus, como a Dinamarca, a Escócia, a Finlândia, a Holanda e o Luxemburgo, está a desenvolver o Plano de Ação para a Economia Circular (PAEC).

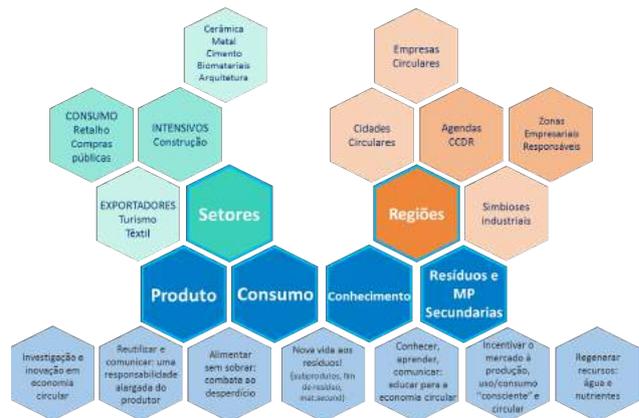
O PAEC encontra-se organizado em três níveis de ações:

- **Macro:** ações de âmbito estrutural, com potencial de produzir efeitos transversais e sistémicos que potenciam a apropriação de princípios da economia circular pela sociedade;
- **Meso (ou setoriais):** ações ou iniciativas definidas e assumidas pelo conjunto de intervenientes na cadeia de valor de setores considerados críticos para o aumento da produtividade e utilização eficiência de recursos do país, capturando benefícios económicos, sociais e ambientais;
- **Micro (ou regionais/locais):** ações ou iniciativas definidos e assumidos pelo conjunto de agentes económicos regionais e/ou locais, que incorporam o perfil económico local e o valorizam na abordagem aos desafios sociais.

As ações previstas ao nível macro centram-se em diferentes dimensões de atuação (produção, consumo, resíduos e no conhecimento), e encontram-se substanciadas por outras de escala setorial e regional, a realizar até 2020.

As ações macro totalizam o número de 7 e preveem 53 orientações que se pretende virem a ser desenvolvidas por diferentes entidades, tanto do setor público como privado. As 7 ações macro propostas para serem desenvolvidas são:

Ação 1: REUTILIZAR E COMUNICAR: UMA RESPONSABILIDADE



ALARGADA DO PRODUTOR

Ação 2: INCENTIVAR O MERCADO À PRODUÇÃO, USO E CONSUMO CONSCIENTE, CIRCULAR

Ação 3: CONHECER, APRENDER, COMUNICAR: EDUCAR PARA A ECONOMIA CIRCULAR

Ação 4: ALIMENTAR SEM SOBRAR: COMBATE AO DESPÉRDIO

Ação 5: NOVA VIDA AOS RESÍDUOS

Ação 6: REGENERAR RECURSOS: ÁGUA E NUTRIENTES

Ação 7: INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO EM ECONOMIA CIRCULAR

A ação **“REUTILIZAR E COMUNICAR: UMA RESPONSABILIDADE ALARGADA DO PRODUTOR”** prevê orientações ao nível do Produto e do Consumidor cujos objetivos são reduzir a procura de materiais e matérias-primas na produção dos produtos, aumentar a reutilização dos produtos abrangidos pela responsabilidade alargada do produtor e simultaneamente diminuir a produção de resíduos.

A ação **“INCENTIVAR O MERCADO À PRODUÇÃO, USO E CONSUMO CONSCIENTE, CIRCULAR”** por seu lado centra-se na componente das Finanças e da Fiscalidade, e prevê iniciativas que permitem analisar o potencial económico e ambiental resultante da introdução progressiva de instrumentos económicos para premiar a **produção e consumo sustentáveis**, incentivar o setor financeiro a capturar oportunidades em matéria de investimento para

a economia circular e promover a adoção dos princípios de circularidade pelo setor produtivo.

A ação “**CONHECER, APRENDER, COMUNICAR: EDUCAR PARA A ECONOMIA CIRCULAR**” pretende intervir na consciencialização da sociedade civil para escolhas ambientalmente conscientes de bens e serviços, tendo em vista estabelecer um compromisso colaborativo, estratégico e de coesão na construção da literacia ambiental em Portugal materializada através da Estratégia Nacional de Educação Ambiental (ENEA).

No que respeita à ação “**ALIMENTAR SEM SOBRAR: COMBATE AO DESPERDÍCIO**” as orientações focam-se no Consumidor e nos Resíduos e tem como principais objetivos diminuir a produção de resíduos orgânicos e aumentar a produtividade da cadeia de valor, contribuir para a educação do produtor/consumidor e conhecer e monitorizar a realidade nacional em matéria de desperdício alimentar na cadeia de valor.

Na ação “**NOVA VIDA AOS RESÍDUOS**” a intervenção prevista pretende incidir ao nível Normativo/ Legal e da Inovação, tendo como principais objetivos aumentar a introdução de matérias-primas secundárias na economia; diminuir a produção de resíduos; reduzir a procura de matérias-primas primárias e reduzir custos de contexto às empresas. A ação “**REGENERAR RECURSOS: ÁGUA E NUTRIENTES**” propõe orientações ao nível do Uso/ Consumo; Reutilização e Regeneração, visando aumentar a eficiência hídrica, sobretudo a reutilização de água, abordar o nexus água-energia, diminuir o consumo de água e aumentar a recuperação e recirculação de nutrientes nos seus ciclos naturais.

No que se refere à sétima ação macro, “**INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO EM ECONOMIA CIRCULAR**”, o PAEC pretende definir áreas de investigação e inovação chave para a aceleração da economia circular em Portugal, bem como definir, desenvolver e potenciar competências para as áreas identificadas e ainda identificar e potenciar redes de conhecimento em economia circular.

Complementarmente às 7 ações macro descritas está previsto o desenvolvimento de **agendas setoriais específicas** que consideram o contexto económico português para identificar setores chave tendo em vista a aceleração da economia circular designadamente setores intensivos na utilização de materiais, setores com cariz exportador e que tenham um impacto relevante no consumidor.

Neste âmbito o PAEC identifica 5 agendas setoriais com estádios de desenvolvimento distintos:

- Turismo
- Têxtil-calçado

- Retalho
- Ambiente construído
- Compras públicas.

As agendas do “**AMBIENTE CONSTRUÍDO**” e das “**COMPRAS PÚBLICAS**” foram construídas com mais detalhe por serem duas áreas que reúnem, à data, condições – políticas, envolvimento das empresas e instituições, investimento – para introduzir a discussão destas matérias com os grupos de interesse e avançar no curto prazo para ações concretas.

No que concerne às restantes três agendas setoriais identificadas como prioritárias, o PAEC propõe uma estrutura de agenda onde são identificados para cada setor o objetivo, as atividades a desenvolver e as entidades essenciais **à sua implementação**. A estrutura apresentada pode ser considerada como um primeiro passo para a constituição de “acordos circulares” com o objetivo de abordar no seio de cada setor os respetivos desafios particulares.

Por último, mas não menos importante, surgem as ações regionais/locais onde são propostos 4 temas de convergência regional e nacional em matéria de aceleração para a economia circular, que podem ser trabalhados em conjunto, mas que permitem a preservação das especificidades socioeconómicas de cada região:

- ZER – Zonas empresariais responsáveis
- Simbioses Industriais
- Cidades Circulares
- Empresas Circulares

## 5. TRANSIÇÃO EM AÇÃO – O CASO PARTICULAR DOS RECURSOS HÍDRICOS

Durante o século 20, o consumo de água aumentou em 800%, verificando-se que a procura e o fornecimento de água potável ainda constituem um problema em muitas regiões do mundo. Mesmo que existam atualmente soluções alternativas para tornar a água potável, a reutilização de águas residuais deve ser considerada, sempre que possível, em particular nos setores da agricultura e a indústria, mas também para consumo humano. A água residual é o único recurso hídrico sempre disponível e cujo volume aumenta proporcionalmente ao desenvolvimento económico e ao consumo. As águas residuais também podem ser reutilizadas como energia, graças à transformação da lama em biogás, como calor ou água quente; ou como fertilizantes graças aos processos de digestão anaeróbica.

Nas últimas décadas, a escassez de água agravou-se em algumas regiões da UE, não sendo Portugal uma exceção, com efeitos nocivos para o ambiente, a saúde humana e a economia. Para além das medidas de eficiência hídrica, incluindo o nexus água-energia, a reutilização das águas residuais tratadas em condições seguras e com uma boa relação custo-eficácia constitui um meio valioso mas subutilizado para aumentar o abastecimento de água e aliviar a pressão sobre os recursos hídricos sobre explorados na UE. A reutilização da água na agricultura contribui também para a reciclagem de nutrientes substituindo os adubos. A Comissão Europeia prevê implementar uma série de medidas para promover a reutilização das águas residuais tratadas, incluindo legislação sobre os requisitos mínimos aplicáveis à água reutilizada.

Com vista a endereçar todos as questões elencadas e aproveitar todo o potencial que este setor traz para a economia circular o PAEC prevê uma medida designada como “Regenerar recursos: água e nutrientes” no âmbito da qual os recursos hídricos são abordados de forma mais detalhada não obstante outras ações contribuírem, direta ou indiretamente, para a transição deste setor.

Ao nível do Uso e do Consumo da água está previsto um conjunto de medidas que passam por promover a eficiência hídrica no setor urbano (edifícios residenciais e de serviços), no setor agrícola e no setor industrial através da elaboração e disponibilização de guias de eficiência hídrica para os vários setores, simplificados, de melhores técnicas disponíveis, formação em eficiência hídrica e desenvolvimento de ferramentas de apoio à contabilização e gestão de consumos (p.e. calculadora da água). Complementarmente está previsto também a necessidade de desenvolver um sistema de rotulagem e certificação de eficiência hídrica. Outra medida entendida como necessária para um melhor Uso e Consumo é o estabelecimento de objetivos por região hidrográfica para eficácia de volume captados vs utilizados, com metas de sustentabilidade.

De forma a contribuir para o problema da diminuição das disponibilidades hídricas e acrescentar valor às águas residuais uma outra dimensão abordada no PAEC **é a Reutilização de águas residuais**. As medidas previstas passam por promover a integração da reutilização de água no planeamento e gestão de recursos hídricos com adoção de melhores práticas e apoio à inovação e investimento. Para este efeito terá de ser igualmente apoiado o desenvolvimento de sinergias e/ou tecnologias para obtenção de requisitos mínimos de reutilização. Por outro lado,

a mudança de comportamento para a procura de águas residuais reutilizadas terá de ser por via de campanhas de sensibilização e educação para a reutilização de águas, envolvendo os principais grupos de interesse.

Por último, com vista a aproveitar o que ainda está disponível nas águas residuais outra dimensão a considerar é a regeneração. Pretende-se neste âmbito desenvolver esforços para a promoção de tecnologias para a recuperação e reutilização de nutrientes e compostos (química verde), p.e. biorefinação de efluentes industriais/domésticos para extração de fósforo/azoto, compostagem e/ou biogás de efluentes pecuários com produção de fertilizantes orgânicos e bioenergia. Para o efeito devem ser promovidos acordos voluntários para superar obstáculos para a promoção de reutilização de água, e para o uso de compostos extraídos. Para a concretização do objetivo da regeneração importará também promover a agricultura biológica como veículo **à aceleração da regeneração de nutrientes e uso eficiente da água**.

**À data de elaboração do presente artigo o PAEC** ainda se encontra em Consulta Pública pelo que poderá assistir-se a alguns ajustamentos ao que aqui foi apresentado decorrente da integração dos contributos obtidos nesse âmbito.

## 6. AMBIÇÃO FUTURA

Para uma política de transição integrada com uma visão sistémica, é importante estabelecer uma ambição para o que Portugal pretende alcançar em 2050. Ter uma ambição traz consigo uma carga positiva, uma vontade, partilhada por todos.

Estabelecer uma vontade intensa de alcançar objetivos em conjunto é muito importante, e um fator crítico para o sucesso. Muitas vezes este exercício é feito internamente, no contexto dos programas individuais de cada ministério. Mas, se apropriada por todos os agentes – governo, empresas, cidadãos – a conceção, desenvolvimento e execução de ações, sejam elas políticas, operacionais ou comportamentais, será feita tendo em conta uma perspetiva sistémica e um juízo imediato sobre os impactos gerados.

A ambição representada foi concebida para alavancar e impulsionar o desenvolvimento dos trabalhos do PAEC. Esta ambição deve ser apropriada pelos diferentes ministérios, sociedade civil e organizações privadas. A partir do momento em que esta ambição é assumida por todos, deixará de ser apenas uma vontade, para se traduzir na realidade prosseguida por todos.



**NEUTRALIDADE CARBÓNICA E UMA ECONOMIA EFICIENTE E PRODUTIVA NO USO DE RECURSOS:** economia portuguesa neutra em emissões de gases com efeito de estufa (o que emite será equivalente ao que “captura” e substitui), e eficaz no uso de materiais (redução significativa da extração e importação de materiais, redução significativa dos resíduos finais produzidos, melhor gestão e extração de valor dos recursos em circulação);

**CONHECIMENTO COMO IMPULSO:** a aposta em investigação & inovação converte-se em soluções – no produto, no serviço, no modelo de negócio, no consumo/ utilização, no comportamento – com menos intensidade em emissões e recursos, integradas em modelos de negócio que impulsionem a geração

de emprego, o uso eficiente e eficaz dos recursos mobilizados, e uma valorização económica prolongada dos mesmos;

**PROSPERIDADE ECONÓMICA INCLUSIVA E RESILIENTE:** desenvolvimento económico transversal a todos os setores da sociedade, resiliente face à volatilidade de preços e risco, progressivamente desacoplado de impactos ambientais e sociais negativos;

**SOCIEDADE FLORESCENTE, RESPONSÁVEL, DINÂMICA E INCLUSIVA:** uma sociedade informada, participativa e mais colaborativa – uma sociedade guiada pelo ser e pelo cuidar, em oposição ao querer e possuir e que preserva e cuida do seu capital natural.

Para concluir deixamos uma frase do Primeiro Vice-Presidente da Comissão Europeia, Frans Timmermans<sup>14</sup>:

*“Our planet and our economy cannot survive if we continue with the ‘take, make, use and throw away’ approach.*

*We need to retain precious resources and fully exploit all the economic value within them.*

*The circular economy is about reducing waste and protecting the environment, but it is also about a profound transformation of the way our entire economy works.*

*By rethinking the way we produce, work and buy we can generate new opportunities and create new jobs.”*

## 7. MAIS INFORMAÇÃO

“Liderar a transição [Plano de ação para a economia circular em Portugal: 2017- 2020]” - <http://eco.nomia.pt/>

14 - [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-15-6203\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_en.htm)





**ct&i**

(Ciência, Tecnologia e Inovação)



# Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil

## *The impacts caused by dams on water availability in Brazilian northeast*

Anderson Nascimento do Vasco<sup>1</sup>, Antenor de Oliveira Aguiar Netto<sup>2</sup>, Fernando Falco Pruski<sup>3</sup>

<sup>\*1</sup>Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, professor do Instituto Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, CEP: 49100-000, Brasil. e-mail: anderovasco@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Pós-Doutor em Recursos Hídricos professor do departamento de Agronomia da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil. e-mail: antenor.ufs@gmail.com

<sup>3</sup>Pós-Doutor em Conservação de Solo e Água, professor do departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa. CEP: 36570-000, Viçosa, Brasil. e-mail: fpruski@ufv.br

\* Autor para correspondência (e-mail): anderovasco@yahoo.com.br

**RESUMO:** A regularização do rio São Francisco está geralmente associada a impactos sobre as mudanças no comportamento hidrológico com significativas alterações na qualidade e quantidade da água. Neste artigo avaliou-se a magnitude das alterações no regime de vazões no baixo rio São Francisco, provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho e Xingó, além das modificações na disponibilidade hídrica tomando-se como base a vazão de referência Q7,10 e curva de permanência Q90% e Q95%. O trecho estudado compreende a região do baixo rio São Francisco com extensão de 210km, desde a estação de Piranhas (AL), até a foz do rio no Oceano Atlântico. Os resultados revelam alterações das vazões de referência no baixo rio São Francisco, após a construção de barragens, ocasionando a diminuição na disponibilidade hídrica em 40%, 56%, 60% e 39% nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril respectivamente na região em estudo.

Palavras-chave: Vazão de referência, escassez hídrica e regularização de rios

**ABSTRACT:** The regularization of the River São Francisco is generally associated with the impacts on changes in hydrological behavior with considerable changes in the water quantity and quality. In this paper was evaluated the magnitude of those changes in the flow regime from the lower stream of the River São Francisco, caused by the construction of Sobradinho's reservoir, besides these changes in water availability, considering as base the reference flow Q7,10 and Q90% ; Q95% the permanence curve. The studied stretch comprises the lower stream of the River São Francisco which has an extension of 210 kilometers from the station in Piranhas (AL) to the mouth of the river in the Atlantic Ocean. The results reveal alterations in the reference flow in the lower stream of the River São Francisco, after the construction of the dams, causing the reduction in water availability of 40%, 56%, 60% and 39% in the months January, February, March and April respectively in the studied region.

Keywords: Reference flow, hydro shortage and river regularization

## 1. INTRODUÇÃO

A regularização de um rio por barramento provoca impactos na quantidade e qualidade da água, assim como na sazonalidade dos eventos de vazões. Os efeitos diretos à jusante dos reservatórios são: redução do número de espécies de peixes e invertebrados, redução dos níveis de deposição de sedimentos e nutrientes na planície de inundação, impedimentos à navegação, alterações nos processos biofísicos dos estuários, redução da recarga subterrânea e comprometimento da disponibilidade hídrica para os múltiplos usos (Syvitski *et al.* 2005, Song *et al.* 2007, Stevaux *et al.* 2008 and Zahar *et al.* 2008).

As modificações mais significativas no regime de vazões do rio São Francisco ocorreram mediante o início da operação das hidroelétricas de Três Marias (1952) e Sobradinho (1979), que têm as funções de geração de energia e controle de cheias. Atualmente, o regime de vazões determinado pela regularização do rio para fins de geração de energia, constitui fonte potencial de conflito entre abastecimento público, irrigação e vazão ambiental (Martins *et al.*, 2011).

Os problemas na região do Baixo São Francisco, entre Sergipe e Alagoas, em virtude das diversas intervenções feitas ao longo do curso do rio, têm causado diversas modificações, tais como: diminuição do volume de água no canal principal, interrupção do ciclo natural das cheias nas lagoas marginais, erosão das margens, perda de áreas agricultáveis, rompimento de diques de contenção, comprometimento dos processos de captação e drenagem dos perímetros de irrigação (Holanda *et al.*, 2008).

Considera-se fundamental o conhecimento da fração de água disponível para utilização no interior da bacia do São Francisco, haja vista que se trata de um recurso limitado e essencial para o desenvolvimento de múltiplas atividades. A aleatoriedade dos processos hidrológicos e a extensa área que abrange a bacia hidrográfica do rio São Francisco evidenciam a necessidade de tratamento estatístico e a utilização de ferramentas que possam traduzir o comportamento das variáveis que compõem o sistema hídrico (Silva Marques e Lemos, 2009).

A estimativa da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica é uma das informações mais importantes no que diz respeito ao gerenciamento de recursos hídricos. A oferta de água superficial é, normalmente, estimada por meio de vazões de referência, que representam as menores vazões das séries históricas (Baena *et al.*, 2004). Para que a implantação do instrumento da outorga possa ser realizada de maneira mais efetiva, é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico das

bacias hidrográficas, especialmente na determinação das vazões de referência ao processo decisório (Fioreze e Oliveira, 2010).

No Brasil, critérios diferentes são adotados pelos estados, visando alocar as derivações para usos de seus respectivos cursos d'água. A variabilidade desses critérios está relacionada com as características individuais de cada bacia hidrográfica, podendo haver disparidade de uma bacia para outra (Silva *et al.*, 2006). Há predominância da utilização de dois métodos hidrológicos, para determinação das vazões de referência que são obtidas com base em análise estatística de séries históricas de vazão, são a  $Q_{90\%}$ , a  $Q_{95\%}$  e a  $Q_{7,10}$  (Santos, Oliveira e Fioreze, 2006; Pruski, Silva e Koez, 2006). Segundo Reis *et al.* (2008) as vazões  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  caracterizam uma situação de permanência de um estado recessivo de vazões, enquanto a  $Q_{7,10}$  corresponde à vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos, ou seja, a cada dez anos, em média, há o risco de ocorrer sete dias seguidos com esta vazão mínima. Reflete uma situação crítica de escassez e, por isto, é normalmente adotada como referência em projetos de captação para abastecimento público e sua adoção praticamente eliminaria o risco de suspensão dos usos outorgados na bacia hidrográfica.

A principal justificativa da utilização de vazões mínimas anuais, tal como a  $Q_{7,10}$ , reside no fato destas serem as principais balizadoras no que se refere a licenças ambientais, avaliação de impacto ambiental de obras hidráulicas, além de ser um parâmetro de disponibilidade hídrica muito empregado em análises de concessão de outorga (Luiz, Fernandes e Reis Júnior, 2013).

É importante salientar que os métodos citados são utilizados para caracterizar o regime hidrológico dos rios isso quer dizer que não analisam o aspecto ambiental, apenas presumem que a manutenção de um valor de referência calculado com base em estatística da série histórica possa acarretar benefício ao ecossistema. A principal vantagem desses métodos está na pequena quantidade de informações necessárias para sua aplicação, em geral apenas a série histórica de vazões (Collischonn *et al.*, 2006).

Este trabalho tem como objetivo avaliar as alterações no regime de vazões no rio São Francisco em seu baixo curso, provocadas pela construção do reservatório de Sobradinho e Xingó, assim procedeu-se à análise da variação do comportamento hidrológico da vazão mínima anual com sete dias de duração e vazão associada à permanência de 95% e 90%, durante o período de 1940 a 2013.

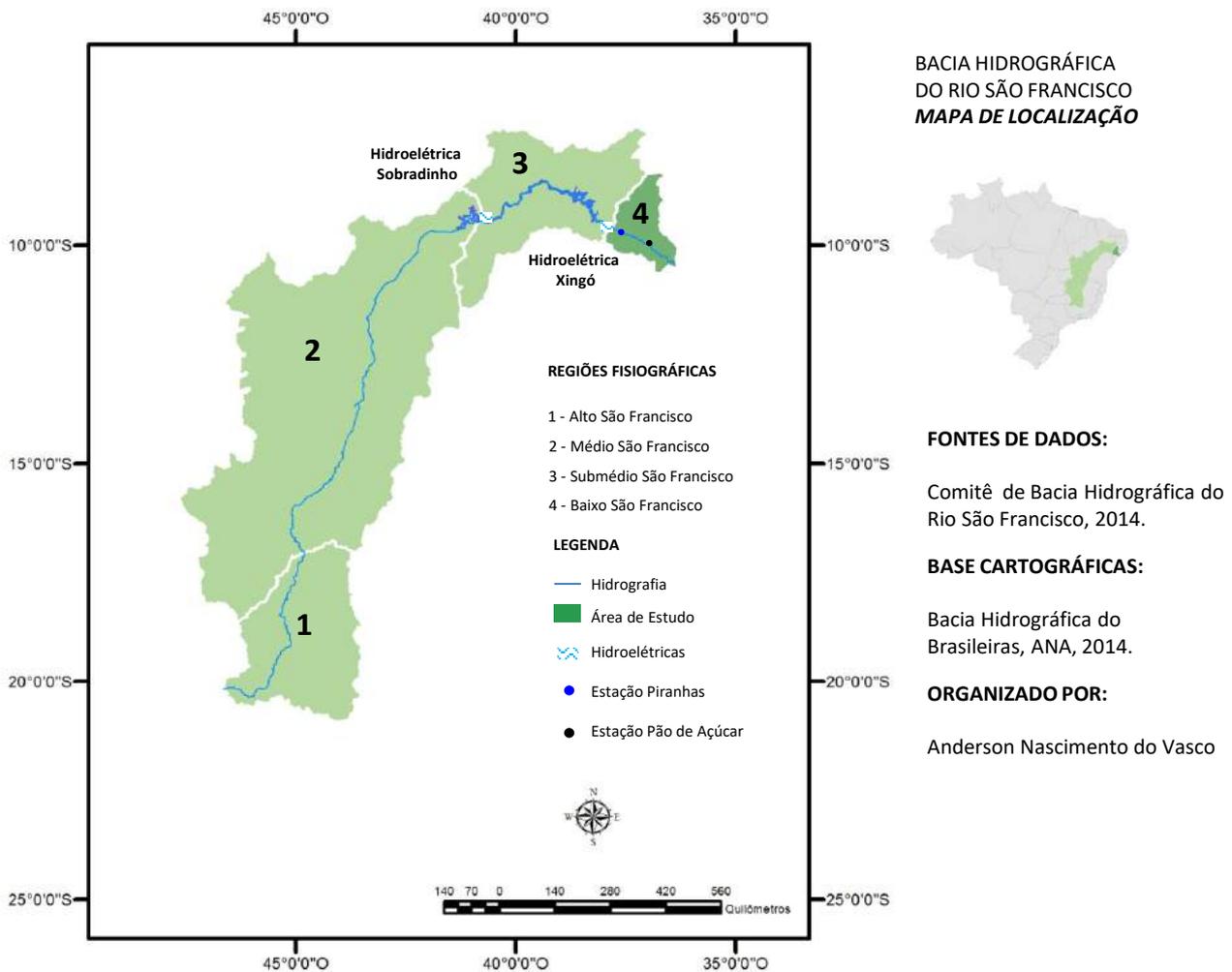
## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHRSF) possui uma área de 634.000km<sup>2</sup> e está localizado entre as latitudes 7° e 21° S. Suas nascentes encontram-se na Serra da Canastra (em Minas Gerais), ao longo da qual o rio percorre aproximadamente 2800 km até sua foz no Oceano Atlântico.

Na área da bacia hidrográfica residem cerca de 13 milhões de habitantes distribuídos em 464 municípios (Genz e Luz, 2012). Normalmente sua área é dividida em quatro regiões hidrográficas: Alto São Francisco (100.060 km<sup>2</sup> - 16%), Médio São Francisco (398.716 km<sup>2</sup> - 63%), Submédio São Francisco (110.481 km<sup>2</sup> 17%) e Baixo São Francisco (25.524 km<sup>2</sup> - 4%) (ANA, 2004).

A região abordada neste estudo compreende o baixo rio São Francisco que possui uma extensão de 210km e abrange quatro estados: Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. A área estende-se da hidroelétrica de Xingó (Canindé de São Francisco, SE) até a região da foz do rio São Francisco (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger os tipos de clima predominante na região do baixo rio São Francisco, no trecho entre Piranhas e a foz são: quente semiárido (BSh), Piranhas e Traipu com uma temperatura média anual de 26° C, precipitação média anual de 600 mm, estação chuvosa de março a agosto e tropical semiúmido (as), em Propriá para a foz, a temperatura média anual de 26°C, a precipitação média anual de aproximadamente 1200 mm e a estação das chuvas de março a agosto (Cavalcante, 2011).



**Figura 1.** Bacia hidrográfica do rio São Francisco, destaque para trecho estudado (ANA, 2014).

Ao longo do curso principal, o rio São Francisco possui nove usinas hidrelétricas instaladas em série, que foi responsável pela regularização do regime de vazões (Tabela 1). Na região do Submédio do rio São Francisco, as usinas instaladas pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) compreendem o maior complexo hidrelétrico no Brasil (potência total: 10,618 MW, volume acúmulo de  $50 \times 10^9 \text{ m}^3$ ).

As construções das barragens tiveram grandes impactos no regime de vazões ao longo do rio São Francisco. Após a construção da barragem de Sobradinho a regularização do rio provocou um aumento nas vazões mínimas à jusante para mais de  $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , fato que não foi observado em nenhum período anterior (Figura 2). De 1987 a 1994, quando a barragem de Xingó foi construída,

a barragem de Sobradinho passa a regularizar o rio de forma mais significativa, a partir deste período, ocorre uma redução nos picos de cheia na região do baixo rio São Francisco modificando drasticamente sua hidrodinâmica, as vazões médias são reduzidos a cerca de  $1800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (MANETA *et al.*, 2009).

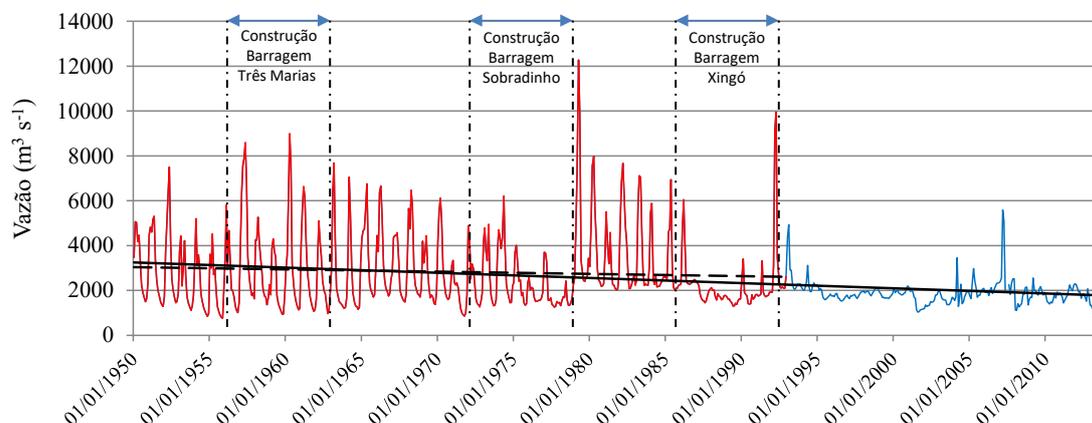
## 2.2 Dados utilizados no estudo e estimativa das vazões

A Agência Nacional das Águas - ANA é responsável pelo monitoramento de 4.543 estações fluviométricas das 14.822 existentes no Brasil. Estas estações são operadas por institutos parceiros e contratados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013). Um dos maiores problemas enfrentados na gestão de recursos hídricos do nordeste é a carência de dados, onde muitas estações em operação estão

**Tabela 1.** Principais usinas hidrelétricas do rio São Francisco e as características de seus reservatórios (Rebouças; Braga; Tundisi, 2006; ANA, 2009 and Martins *et al.*, 2011).

Usina hidrelétricas	Estado	Início de operação	Potência instalada (MW)	Vazão média* ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Tempo de permanência	Volume reservatório ( $\text{m}^3$ )	
						Total	útil
Três Marias	MG	1962	396	687.63	-	19.53 bilhões	15 bilhões
Sobradinho	BA	1979	1050	2655.61	-	34.16 bilhões	28 bilhões
Itaparica	PE/BA	1988	1500	2738.96	2 a 4 meses	10 bilhões	3 bilhões
Moxotó	BA/AL	1977	400	2755.78	5 dias	1.2 bilhões	180 milhões
Paulo Afonso I	BA	1954	180	-	8 dias	-	-
Paulo Afonso II	BA	1961	443	-	8 dias	26 milhões	9.8 milhões
Paulo Afonso III	BA	1971	794	-	8 dias	-	-
Paulo Afonso IV	BA	1979	2462	-	5 dias	127 milhões	29 milhões
Xingó	AL/SE	1994	3000	2755.79	16 dias	3.8 bilhões	41 milhões

\* vazão média de longa duração obtida com série histórica das vazões naturais 1930 a 2010.



**Figura 2.** Vazões registadas a jusante da barragem de Sobradinho. A linha sólida indica a tendência de fluxo para todo o período 1950-2013. A linha pontilhada indica a tendência para o período 1950-1993, antes da construção de Xingó.

sem dados ou possuem muitas falhas, apesar da amplitude e importância do baixo rio São Francisco o mesmo só possui quatro estações fluviométricas com séries históricas com mais de 30 anos de dados. No estudo foram utilizadas as séries históricas das vazões diárias de doze estações fluviométricas (Tabela 2), sendo que as estações de Pão de açúcar e Piranhas foram consideradas para estudo da variação do comportamento hidrológico  $Q_{7,10}$  e vazão de permanência de 95% e 90%, no baixo São Francisco por possuir série histórica anterior a construção da barragem de Sobradinho.

As estações são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), compreendendo o período de observações de 1940 a 2013. Os dados de vazões foram acessados por meio do HidroWeb, portal que oferece um banco de dados com todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica e reúne dados sobre cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos (ANA, 2013).

### 2.3 Cálculo da $Q_{7,10}$

Para estimar as vazões mínimas para diferentes períodos de retorno é necessário gerar funções de distribuição de densidade de probabilidade. Essas funções são geradas a partir de dados de eventos mínimos. Além da estimativa das vazões, utilizam-se intervalos de confiança para estabelecer a variação possível dos eventos estimados. Para estimar a menor vazão média durante um período

de 7 dias consecutivos, com um intervalo médio de recorrência de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), foram utilizadas as funções de densidade de probabilidade: Log-Pearson 3, Pearson 3, normal, lognormal 2, e Weibull. Estas funções de probabilidade estimam a magnitude do evento com um intervalo de repetição, tal como definido pela Eq. 1.

$$M = \mu + k\sigma \quad (1)$$

Em que:

M: magnitude do evento para o período de retorno estabelecido ( $m^3 s^{-1}$ );

$\mu$ : média dos eventos;

k: fator de frequência;

$\sigma$ : desvio padrão dos eventos ( $m^3 s^{-1}$ ).

Para cada tipo de distribuição de densidade de probabilidade o fator de frequência foi calculado conforme Kite (1988). Utilizando as distribuições de probabilidade foram estimadas as  $Q_{7,10}$  em cada série histórica. Para isso, os eventos utilizados da série histórica de vazão foram as menores médias de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ) observadas em cada ano. Adotando-se um período de retorno de 10 anos, foi possível estimar, utilizando os eventos de  $Q_7$  de cada ano, a variável de interesse  $Q_{7,10}$ .

No caso da estimativa das  $Q_{7,10}$  mensais, os eventos de  $Q_7$  utilizados foram obtidos por uma restrição do conjunto de dados apenas ao mês de análise, ou seja, geraram-se séries anuais de eventos de  $Q_7$  observados especificamente em cada mês, e com

**Tabela 2.** Localização e características das estações fluviométricas utilizadas no estudo do rio São Francisco.

Estação	Código	Cidade e Estado	Coordenadas (UTM)	Distância da nascente (km)	Período de estudo (anos)
V. Bonita	40025000	V. Bonita MG	23 K 7751716, 357384	60	1940 - 1973; 1980 - 2013
Iguatama	40050000	Iguatama MG	23 K 7769545, 425199	90	1940 - 1973; 1980 - 2013
P. Andorinhas	40100000	P. Andorinhas MG	23 K 7868319, 469966	141	1940 - 1973; 1980 - 2013
Três Marias	41020002	Três Marias MG	23 K 7989113, 473268	182	1940 - 1973; 1980 - 2013
São Francisco	44200000	São Francisco MG	23 L 8236652, 514150	800	1940 - 1973; 1980 - 2013
Carinhanha	45298000	Carinhanha BA	23 L 8418247, 633380	1600	1940 - 1973; 1980 - 2013
Gameleira	46035000	Gameleira BA	23 L 8576840, 675818	1800	1940 - 1973; 1980 - 2013
Juazeiro	48020000	Juazeiro BA	24 L 8959863, 334902	2120	1940 - 1973; 1980 - 2013
*Piranhas	49330000	Piranhas AL	24 L 8935760, 636623	2400	1940 - 1973; 1980 - 2013
*Pão de Açúcar	49370000	Pão de Açúcar AL	24 L 8921826, 670355	2460	1940 - 1973; 1980 - 2013
Traipu	49660000	Traipu AL	24 L 8897023, 719014	2500	1979 - 2013
Propriá	49705000	Propriá SE	24 L 8870132, 738389	2520	1979 - 2013

\* As estações de Pão de açúcar e Piranhas foram consideradas para estudo no baixo São Francisco por possuir série histórica anterior a construção do reservatório de sobradinho.

estes eventos aplicou-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, obtendo-se uma  $Q_{7,10}$  para cada mês (Bof *et al.*, 2012).

Como foram aplicados cinco tipos de distribuições de densidade de probabilidade, utilizou-se nas análises subsequentes a estimativa que apresentou uma menor amplitude do intervalo de confiança dentre as estimativas obtidas pelas distribuições. Esse procedimento foi realizado no SisCAH 1.0 que indica automaticamente a distribuição de probabilidade que apresenta o melhor ajuste estatístico associado ao período de retorno utilizado (SOUSA *et al.*, 2009). Para a escolha da distribuição mais adequada a cada série foi utilizado, com um nível de probabilidade de 95%, o valor dos intervalos de confiança superior e inferior de cada distribuição, calculados conforme Kite (1988) que considera a distribuição que resultou na menor variação entre esses intervalos como sendo a de melhor ajuste.

#### 2.4 Curva de permanência (Q95 e Q90)

A curva de permanência descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva (PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006). O procedimento escolhido para a obtenção da curva de permanência para cada estação fluviométrica é descrito a seguir:

- organização da série de dados de vazões em ordem decrescente;
- determinação da frequência ( $f_i$ ) associada a cada valor de vazão pela equação 2.
- obtenção da curva de permanência plotando-se na ordenada os valores de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max})^\infty + b_{i-1} + (1 - \infty)BFI_{max}Q_i}{1 - \infty BFI_{max}} \quad (2)$$

em que:

$N_{qi}$  = número de vazões de cada intervalo;  
 $NT$  = número total de vazões.

#### 2.5 Taxa de alteração na vazão

A taxa de alteração para a vazão foi calculada para cada mês considerando o período anterior e posterior à construção da barragem de sobradinho. Um valor positivo indica que o volume passível de outorga está aumentando; um valor negativo indica que o mesmo diminuiu-o.

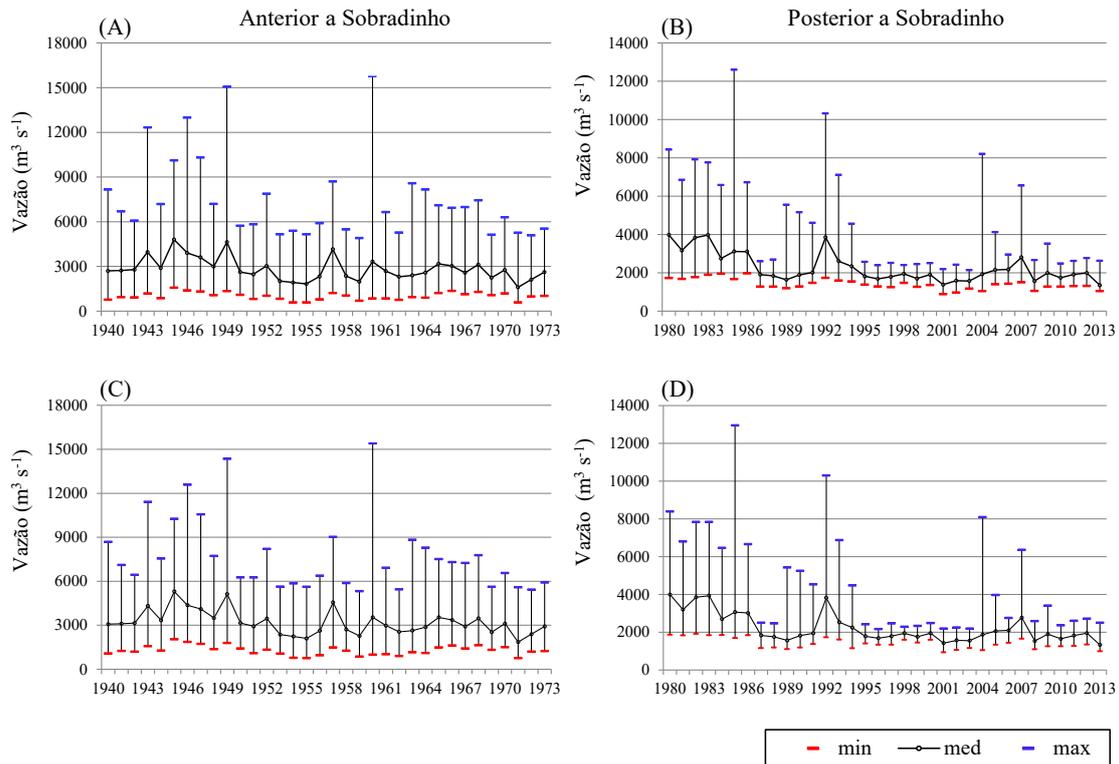
$$\text{Taxa de alteração \%} = \left( \frac{Q_{7,10\text{pos}} - Q_{7,10\text{pre}}}{Q_{7,10\text{pre}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se notar que as vazões máximas foram reduzidas após a construção do reservatório de Sobradinho e as vazões mínimas foram elevadas. As inundações foram consideravelmente reduzidas em relação aos anos 80, quando Sobradinho começou a operar. Na Figura 3A e 3B, são apresentados os dados de vazões máximas, médias e mínimas registradas na estação fluviométrica de Piranhas, localizada a jusante da UHE Xingó. Mesmo depois da operação de Sobradinho as cheias continuavam a acontecer (1980, 1985, 1992 e 2004). A partir de 1994 quando Xingó entra em operação estas cheias são totalmente regularizadas e sua vazão reduzida consideravelmente. Provocando diversos impactos na região do baixo rio São Francisco dentre eles a redução das planícies de inundação, redução da fertilidade natural nas regiões marginais e diminuição da variabilidade de habitantes para espécies aquáticas. Nos anos de 1980, 1985, 1992, 2004, e 2013 a vazão máxima foram  $8440,6\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ ;  $12601,9\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ ;  $10327\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ ;  $8216,4\text{m}^3\text{ s}^{-1}$  e  $2.497\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ . Com uma diminuição gradual das vazões médias nos últimos anos.

Depois da Operação da UHE Xingó somente em 2004 a vazão apresentou um valor maior equivalente a  $8089\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ . Os resultados mostrados na estação de Pão de Açúcar (Figuras 3C e 3D) revela que a partir de 1994 a vazão foi reduzida e vem se mantendo regularizada em média  $1784\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ , com exceção do ano de 2004. Ao observar a análise das variações das vazões, observou-se que no período amostrado os picos de vazão máxima sofreram redução, logo após o início de operação da usina hidroelétrica de Xingó ano de 1993, só foi possível identificar picos de vazões em 2004 e 2007 com vazões máximas registradas de  $8089\text{m}^3\text{ s}^{-1}$  e  $6357\text{m}^3\text{ s}^{-1}$  respectivamente.

Normalmente as vazões a jusante do barramento, não é mais aquela que ocorreria caso a bacia contribuinte permanecesse em suas condições naturais. Esses reservatórios acumulam água nos períodos de maior disponibilidade e liberam o volume acumulado em períodos de menor disponibilidade hídrica, de forma a suavizar o hidrograma, reduzindo a vazão de pico sem alterar o volume total do hidrograma. Um dos principais objetivos é garantir uma capacidade de geração, ao longo de um período, necessária para atender



**Figura 3.** Vazão máxima, média e mínima no baixo rio São Francisco estação de Piranhas período anterior (A) e (B) posterior a construção de Sobradinho, estação de Pão de Açúcar período anterior (C) e (D) posterior a construção de Sobradinho.

à demanda de energia do sistema ao qual a usina está conectada (MARTINS *et al.*, 2011). A construção de barragens em cascata alterou a magnitude e pulsação natural das águas que chega ao baixo rio São Francisco e sua zona costeira (KNOPPERS *et al.*, 2005; MEDEIROS *et al.*, 2007).

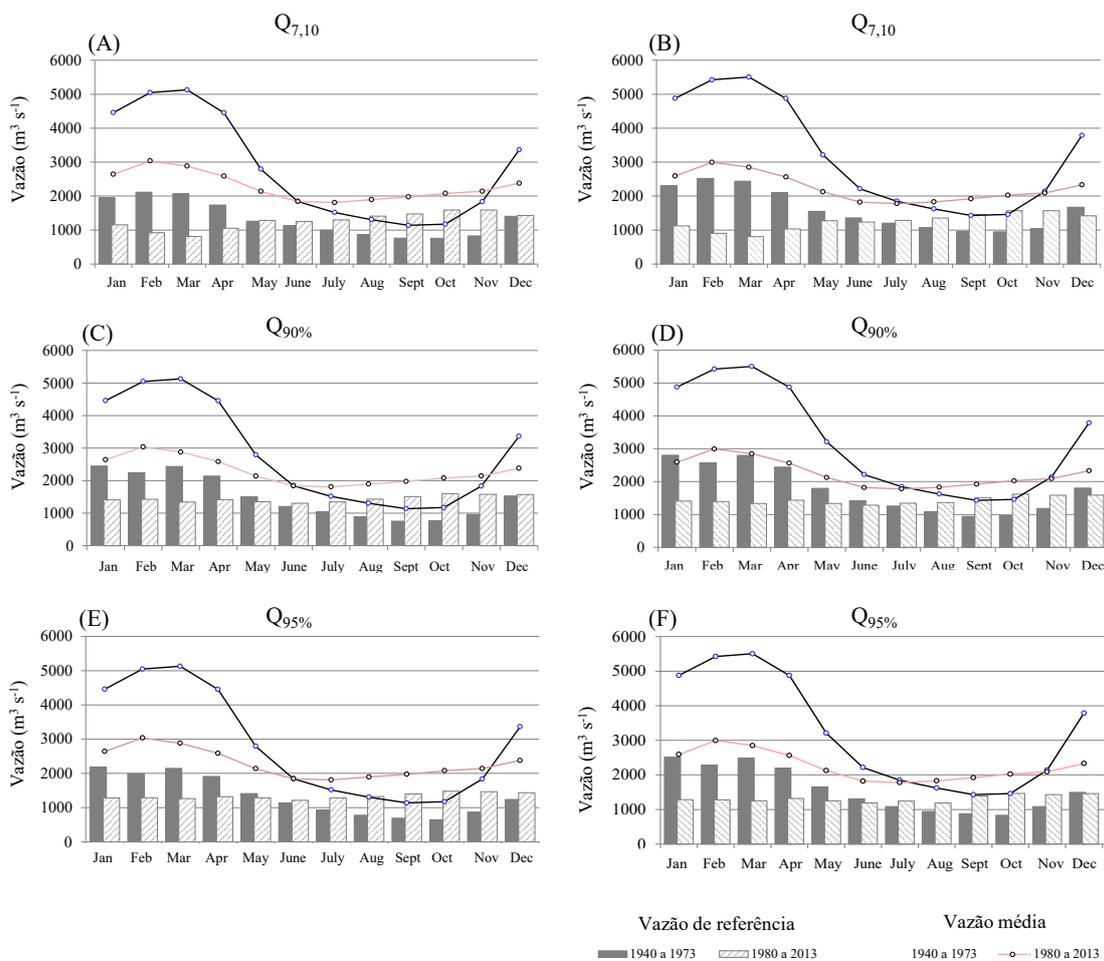
A construção do reservatório de Sobradinho teve papel determinante no regime de fluxo no baixo curso do rio São Francisco, indicando forte influência na regularização da vazão do rio. Na Figura 4 pode ser observado os impactos causados após a construção do reservatório de Sobradinho, ocorreu uma inversão no hidrograma das vazões de referências  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  nas estações de Piranhas e Pão de Açúcar. Os meses com maior disponibilidade hídrica (Janeiro, Fevereiro, Março e Abril, período anterior à construção do reservatório) passou a representar os menores valores de disponibilidade no período pós-reservatórios.

As estações de Piranhas e Pão de Açúcar, apresentaram redução nos valores de vazões de referência  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ , quando comparado os períodos anterior e posterior a construção das barragens ficando evidente os impactos da construção das barragens na

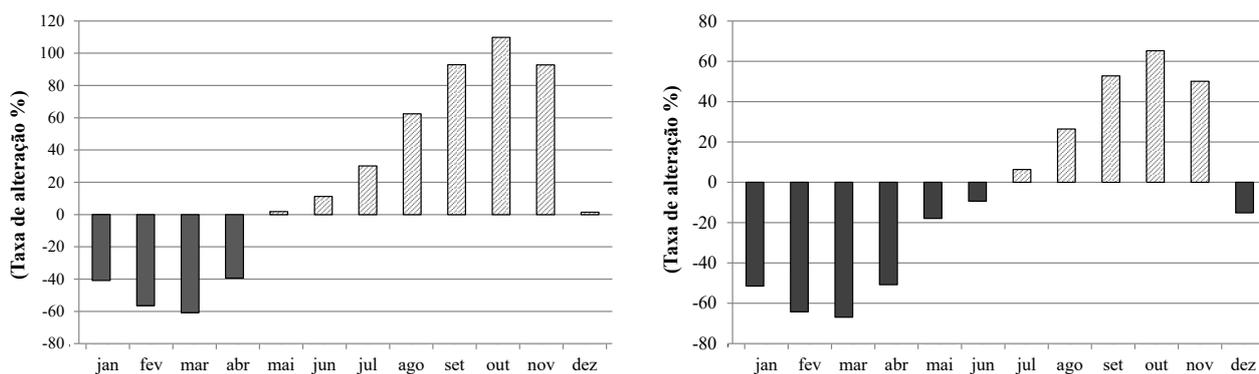
disponibilidade hídrica no baixo rio São Francisco. Houve uma redução na  $Q_{7,10}$  de 40%, 56%, 60% e 39% nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril respectivamente para a estação de Piranhas, o mesmo pode ser observado para estação de Pão de Açúcar com redução de 51%, 64%, 66%, 50%, 17% e 9% nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho respectivamente (Figura 6).

Para os mesmos períodos analisados ocorreu um incremento na disponibilidade hídrica de 1,8%, 11%, 30%, 62% 92% 109 % e 92% para os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro ressaltasse que estes valores são menores quando comparamos o valor absoluto da vazão de referência com o valor incremental.

Os impactos causados pelas barragens são um assunto de preocupação internacional (Vorosmarty *et al.*, 1997; Syvitski *et al.*, 2005) e preocupação nacional (Tundisi *et al.*, 1998; Medeiros *et al.*, 2011.). Uma das modificações provocadas pela construção de barragens é a alteração no padrão de fluxo natural, que afeta vários processos biogeoquímicos. A implantação e operação de reservatórios são ações antrópicas que modificam as distribuições espacial e temporal das vazões naturais. Estudos



**Figura 4.** Vazão de referência no baixo rio São Francisco períodos antes e depois da construção do reservatório de Sobradinho  $Q_{7,10}$  Piranhas (A),  $Q_{7,10}$  Pão de Açúcar (B),  $Q_{90\%}$  Piranhas (C),  $Q_{90\%}$  Piranhas (D),  $Q_{95\%}$  Piranhas (E),  $Q_{90\%}$  Piranhas (F).



**Figura 5.** Impacto das construções das barragens na vazão de referência  $Q_{7,10}$  no baixo rio São Francisco períodos antes e depois da construção do reservatório de Sobradinho, estação de Piranhas em (A) e (B) estação de Pão de Açúcar.

realizados por Yan *et al.*, (2010) avaliaram efeitos das barragens sobre o fluxo a jusante do rio Amarelo, na China e seus resultados mostram que o volume de fluxo foi reduzido e o fluxo de pico no hidrograma anual foi deslocado após as operações de grandes barragens no rio.

Milliman *et al.* (2008) avaliando valores de vazões médias anuais de alguns dos maiores rios das Américas, constataram que o rio São Francisco apresentou redução de aproximadamente 20% na sua vazão média anual entre 1951 e 2000, em função das mudanças no clima global e de atividades antrópicas desenvolvidas na bacia.

Com a implantação de um reservatório modificam-se as vazões nos rios, alterando a garantia do suprimento de água a jusante do mesmo. As vazões a montante e a jusante do reservatório passam, portanto, a apresentar comportamentos diferentes quanto à garantia das disponibilidades (MAGILLIGAN e NISLOW, 2006; ZAHAR, GHORBEL e ALBERGEL., 2008). A jusante ocorre um aumento do valor da vazão mínima disponível (vazão de maior garantia), com a tendência de se aproximar do valor da vazão média.

Na Figura 6 são apresentados dois gráficos com o perfil longitudinal do rio São Francisco, com as altitudes, vazões médias, vazão de referência  $Q_{7,10}$  e vazão outorgável para 12 trechos do rio São Francisco. Pode-se perceber declividades maiores no submédio que, aliadas aos altos valores de vazões, tornaram este trecho preferencial para alocação de usinas hidrelétricas.

O trecho médio se caracteriza por declividades baixas, enquanto o alto São Francisco apresenta altas declividades nas cabeceiras que decrescem ao longo do percurso. Comparando os dois perfis longitudinais das vazões nos períodos estudados é possível observar uma redução no valor passível de outorga caracterizando uma diminuição na disponibilidade hídrica no baixo São Francisco de  $2275\text{m}^3\text{ s}^{-1}$  para  $1086\text{m}^3\text{ s}^{-1}$  anterior e posterior a construção da barragem de Sobradinho. A vazão média também apresentou uma grande variação nos períodos analisados à redução da vazão no período de 1980 a 2013 quando comparado com o período de 1940 a 1973 pode ser explicada devido ao aumento da demanda por água principalmente nos perímetros irrigados instalados na região nos últimos anos associado ao aumento das perdas por evaporação devido à criação dos lagos artificiais pós-construção das barragens.

Segundo Pereira *et al.*, (2009) a construção do reservatório de Sobradinho, associada às demais

atividades desenvolvidas na bacia, causou redução da vazão média, da ordem de  $163\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ . Estudos realizados por Genz e Ligth (2012), analisaram as curvas de permanências no curso inferior do rio São Francisco após a implementação das usinas hidrelétricas mostram que a operação das barragens é responsável por 59% nas mudanças hidrológicas, enquanto que o clima (em condições mais secas) contribuiu com 41% do total.

#### 4. CONCLUSÕES

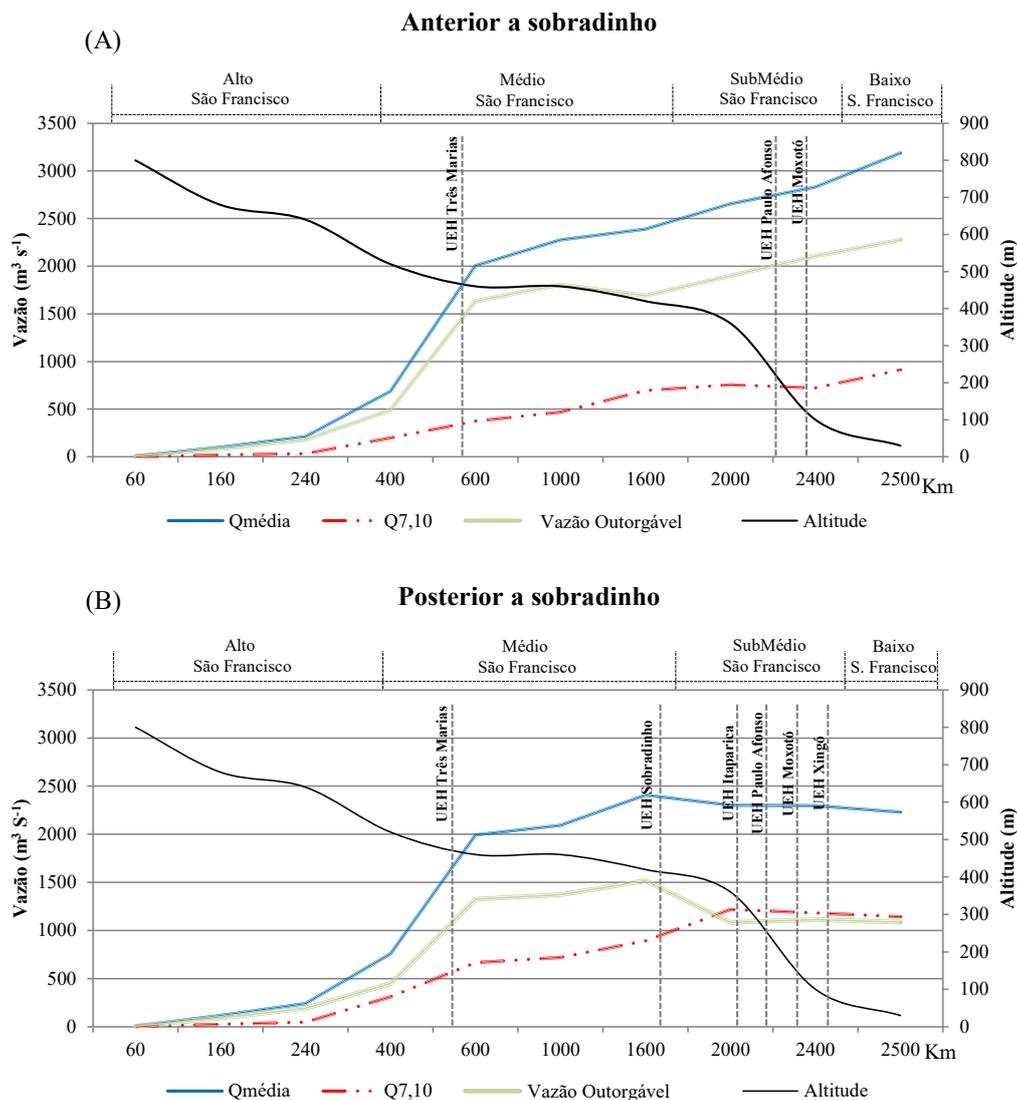
A utilização das vazões de referência permitiu a verificação de uma ampla modificação na hidrologia do baixo rio São Francisco. Os resultados mostraram que as principais alterações, estão relacionadas à regulação das vazões estabelecida pela operação dos grandes reservatórios, implantados ao longo do tempo na bacia hidrográfica.

Ocorreu uma inversão no hidrograma quando são comparados os dois períodos estudados. Os vários impactos produzidos após as barragens causou uma redução na vazão média em  $956\text{m}^3\text{ s}^{-1}$  nos últimos 33 anos.

As grandes mudanças hidrológicas ocorridas no baixo São Francisco estão afetando a disponibilidade hídrica, em todo o baixo São Francisco. Outro problema observado, a respeito da regularização é o aumento dos conflitos por uso da água em situação crítica de disponibilidade. Neste caso, o reservatório armazena água para geração de energia, de modo, a diminuir a magnitude das vazões a jusante da barragem, elevando o risco de suprimento de água para essas regiões

#### 5. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas. 2009. Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio São Francisco, v.4, p.1-15, 2009.
- Agencia Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. 2015. Available in: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>>. Acesso em 06<sup>de</sup> março de 2015.
- Agência Nacional de Águas. 2004. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do rio São Francisco: Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da bacia do rio São Francisco e da sua zona costeira – PAE: GEF São Francisco. In: ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS *et al.* Relatório final. Brasília: TODA Desenho & Arte Ltda., 2004. 336 p.



**Figura 6.** Perfil longitudinal do rio São Francisco período anterior a construção de sobradinho 1940 a 1978 (A) e posterior a construção de Sobradinho 1980 a 2013 (B). \*observação: As distâncias demonstradas na figura não estão em escala.

Baena, L. G. N. *et al.* Espacialização da Q7,10, Q90% e Q95% visando a gestão dos recursos hídricos: estudo de caso para a bacia do rio Paraíba do Sul. *Engenharia na Agricultura.*, (12)1, 24-31, 2004.

Brasil. 2006. Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco/Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA. 148 p.

Collischonn, W. *et al.*, 2006. Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: *Congresso da Água*, 8, Figueira da Foz. Anais... Lisboa: APRH. CD-Rom.

Fioreze, A. P e Oliveira, L. F. C. 2010. Usos dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Tropical.*, 40(1), 28-35.

Genz, F e Luz, L. D. 2012. Distinguishing the effects of climate on discharge in a tropical river highly impacted by large dams. *Hydrological Sciences Journal.*, 57, 1020-1034.

Holanda, F. S. R.; Rocha, I. P. e Oliveira, V. S. 2008. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.*, 12, 570-575.

Luiz, S. F., Fernandes, W.S. e Reis Júnior, D. S. 2013. Regionalização Hidrológica de Vazões Mínimas por meio dos Métodos OLS e WLS Aplicada à Bacia do Alto São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos.*, 18(4), 231-241.

- Kite, G. W. (1988). Frequency and risk analyses in hydrology. 5. ed.: *Water Resources Publications Highlands Ranch - Colorado*, 257p.
- Medeiros, P. R. P. et al. 2011. Changes in Nutrient Loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the Construction of Dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54, 387-397.
- Kroll, C. N. e Vogel, R. M. 2002. Probability distribution of low streamflow series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7, 137-146.
- Milliman, J. D. et al. 2008. Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951–2000. *Global and Planetary Change*, 62, 187-194.
- Martins, D. M. F. et al. 2011. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 1054-1061.
- Medeiros, P. R. P. et al. 2007. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). *Geoch. Bras. Iliensis*, 21, 209-228.
- Pruski, F. F.; Silva, D. D e Koez, M. 2006. Estudo da Vazão em Cursos d'Água. Viçosa: Engenharia na Agricultura. Caderno didático:43. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa,. 151 p.
- Rebouças, A. C.; Braga, B. e Tundisi, J. G. "Hidreletricidade", In: Kelman, J.; Pereira, M. V. F., Araújo Neto, T. A.; et al., *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, 3 ed., São Paulo, Escrituras Editora, 2006, p 748.
- Reis, J. A. T. et al. 2008. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. *Geociências*, 21(4), 509-516.
- Santos, H. I.; Oliveira, L. G. e Fioreze, A. P. 2006. Avaliação das vazões alocáveis na bacia hidrográfica do Rio dos Bois e Sub-Bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11(2), 47-58.
- Silva, A. M. et al. 2006. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 374–380.
- Silva, D. D. ; Marques, F. de A. e Lemos, A. F. 2009. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. *Engenharia na Agricultura*, 17, 392-403.
- Syvitski, J. P. M. et al. 2005. Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. *Science*, 308, 376-380.
- Song, X. J. et al. 2007. Ecological and environmental instream flow requirements for the Wei River - the largest tributary of the Yellow River. *Hydrological Processes*, 21, 1066-1073.
- Sousa, H. T. et al. 2009. SisCAH 1.0: *Sistema computacional para análises hidrológicas*. Brasília: Agência Nacional de Águas, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 60p.
- Stevaux, J. C.; Martins, D. P. e Meurer, M. 2009. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, 113, 230-238.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T. e Braga, E. 1998. Reservoir management in South America. *World Water Dev*, 14, 141-145.
- Vörösmarty, C. J.; Meybeck, M.; Fekete, B. e Sharma, K. 1997, In: *Human Impact on Erosion and Sedimentation*. Proc. Of the Rabat Symposium. IAHS. 245, 261-273.
- Zahar, Y.; Ghorbel, A. e Albergel, J. 2008. Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: Aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity ownstream of the Sidi Salem dam (Tunisia). *Journal of Hydrology*, 351, 318-330.



# Uso e qualidade da água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso (Moju, Pará, Brasil)

## *Use and water quality in the hydrographic microbasin of Parafuso river (Moju, Para, Brazil)*

Cláudia Miranda<sup>1</sup>, Leonilde Rosa<sup>2</sup>, Jorge Bonito<sup>3</sup>, Alcinês Júnior<sup>4</sup>, Nelson Veiga<sup>5</sup>, Francisco Oliveira<sup>6</sup>, Bruno Barros<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Msc. Aluna do Programa de Pós-Graduação em Biologia Parasitária na Amazônia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade do Estado do Pará, Brasil – cllaumiranda@gmail.com

<sup>2</sup> PhD. Professora Associada, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil – leonilders@yahoo.com.br

<sup>3</sup> PhD. Professor Auxiliar com Agregação, Universidade de Évora, Portugal. CIDTFF, Universidade de Aveiro, Portugal – jbonito@uevora.pt

<sup>4</sup> Msc. Professor, Escola Superior da Amazônia, Brasil – alcinesjunior@gmail.com

<sup>5</sup> PhD. Professor Adjunto, Instituto Ciberespacial, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil – nelsoncq2009@gmail.com

<sup>6</sup> PhD. Professor Adjunto, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil – francisco.oliveira@ufra.edu.br

<sup>7</sup> Msc. Aluno do Programa de Pós-Graduação em Virologia do Instituto Evandro Chagas, Brasil – brunocvb@yahoo.com.br

**RESUMO:** A ação antrópica ao longo dos anos, no entorno da microbacia do rio Parafuso, ocasionou impactos ambientais adversos sobre os recursos hídricos. Este estudo tem como objetivos avaliar a qualidade da água do rio Parafuso com base nos atributos físicos, químicos e microbiológicos e identificar os diferentes usos da água pela comunidade local, a fim de obter informação que possa subsidiar propostas para o manejo sustentável da microbacia. Para a avaliação da qualidade da água foram realizadas quatro campanhas, considerando a sazonalidade, com 19 pontos de amostragem. Foram realizadas entrevistas, observação direta e aplicados questionários para coletar os dados sobre os diferentes usos da água pela população local. Os resultados revelam a multifuncionalidade dos rios. Os índices do Ferro e *E. coli*, em alguns pontos amostrais, ultrapassam os limites exigidos pela legislação, o que denota o comprometimento da qualidade da água na referida microbacia para os diversos usos domésticos.

**Palavras-chave:** Amazônia, ação antrópica, microbacia, recursos hídricos, qualidade da água.

**ABSTRACT:** The anthropic action over the years on surroundings of Parafuso river microbasin caused adverse environmental impacts on water resources. This study aims to evaluate the water quality of Parafuso river and its tributary pass rate, based on physical, chemical and microbiological attributes, as well as identify the different uses of water by the local community, in order to obtain in formations to support proposals for the sustainable management of the microbasin. For the evaluation of water quality were conducted four campaigns, considering seasonality, with 19 sampling points. Were applied interviews, direct observation and questionnaires to collect data about the different uses of water, by the local population. The results showed the multifunctionality of the rivers. The contents of Iron and *E. coli* in some sample points surpass the limits required by legislation, which denotes the impairment of water quality in the microbasin for the various household uses.

**Keywords:** Amazon, anthropic action, microbasin, water resources, water quality.

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação da água não pode restringir-se a um simples balanço entre oferta e potencial, mas deve abranger as suas interrelações geoambientais e socioculturais, bem como a conservação dos recursos naturais, a ocupação do território, tanto urbano como rural, para alcançar e garantir a qualidade do desenvolvimento sustentado (REBOUÇAS, 2006). Este pressuposto remete para o problema da degradação dos recursos hídricos e para a crescente escassez da água potável no planeta Terra, em quantidade e qualidade, para dar resposta às novas exigências da sociedade contemporânea. Em vista disso, a região Amazônica, no Brasil, pelas suas características hidrográficas, assume um papel estratégico na discussão. Além das suas águas apresentarem problemas transfronteiriços, a qualidade está ameaçada pelas consequências do crescimento económico insustentável, tanto nas áreas urbanas como nas rurais.

Deste modo, faz-se necessário avaliar a qualidade da água nas microbacias situadas na região Amazônica, onde os rios apresentam diferentes usos pelas populações locais. Inserida neste contexto, encontra-se a microbacia do rio Parafuso em Moju, no Estado do Pará. ROSA (2002) elenca, na microbacia, inúmeras atividades antrópicas, dentre as quais se destacam a agropecuária e a atividade madeireira, que provocam a degradação e o empobrecimento das florestas primárias, incluindo as matas ciliares, gerando inúmeros impactos ambientais nas nascentes e na qualidade da água do rio Parafuso e do seu afluente, o rio Passarote, afetando diretamente a sustentabilidade dos recursos naturais da área.

Apesar das atividades antrópicas referidas ocasionarem alterações físico-químicas e biológicas nas águas do rio Parafuso e do seu afluente, que podem interferir na saúde das populações locais, esses rios são utilizados pelas mesmas populações com funções de lazer, para banhos diários de higiene e para abastecimento doméstico, entre outras.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água na microbacia do rio Parafuso, com base nos atributos físicos, químicos e microbiológicos, bem como identificar os diferentes usos da água pela comunidade local, a fim de obter informação que possa subsidiar propostas para a conservação e gestão sustentável da referida microbacia e contribuir para a criação de políticas públicas, que visem melhorar a qualidade de vida dos moradores locais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A pesquisa foi realizada na microbacia hidrográfica do rio Parafuso no assentamento Olho D'Água I (2° 19' 51" S e 46' 06" W), no município de Mojú, Mesorregião do nordeste paraense, Estado do Pará (Brasil). Esta microbacia possui aproximadamente 9 km<sup>2</sup> (Figura 1).

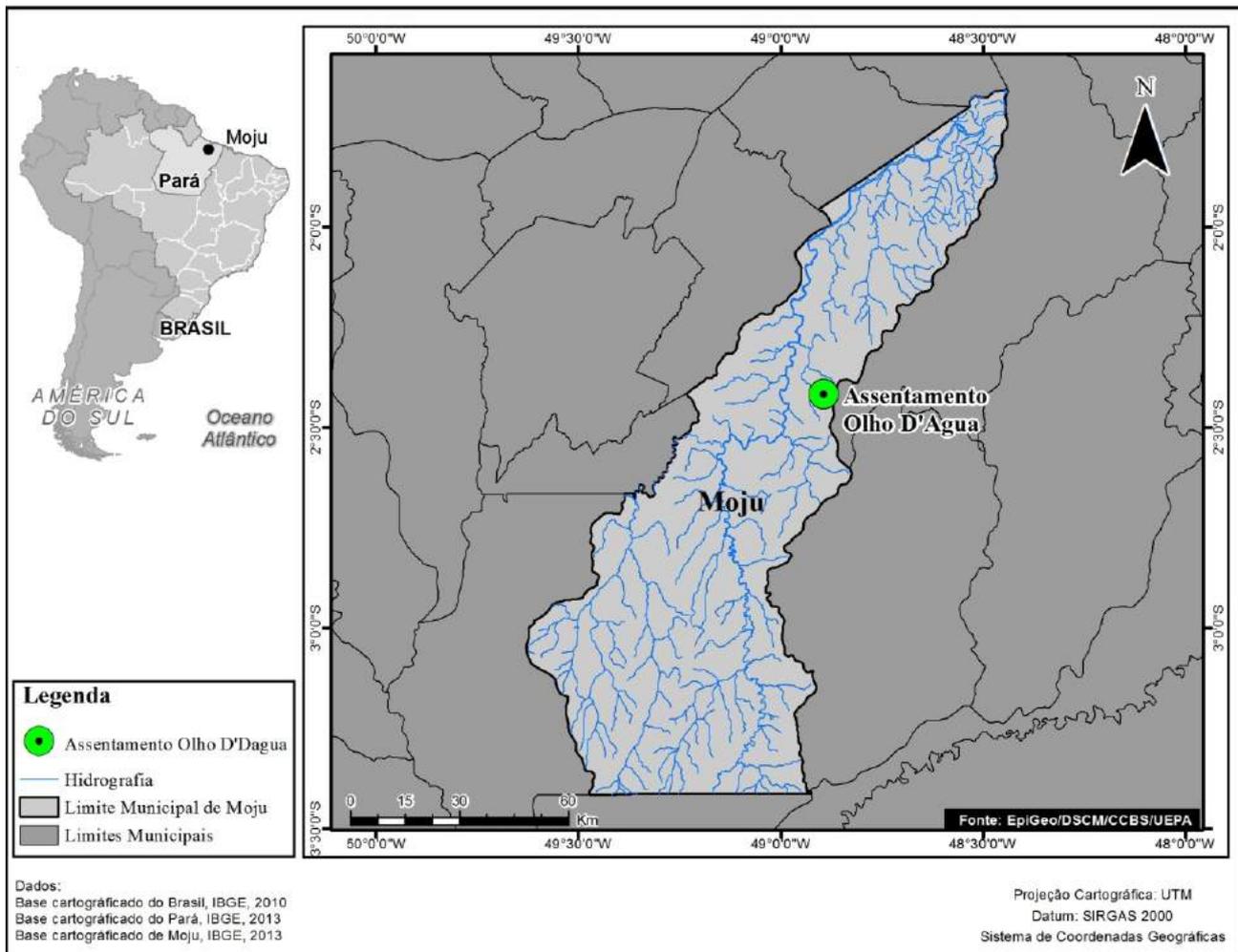
O rio Parafuso é tributário do rio Ubá, um dos principais afluentes do rio Mojú. A microbacia faz parte de um conjunto hidrográfico que compõe a região Costa Atlântica Nordeste, Sub-região do Guamá-Mojú, uma área estratégica para implantação do modelo de gestão das águas na Amazônia, por ser considerada a região mais densamente povoada do Estado do Pará.

Na região, de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Ami, com temperatura média anual entre 25-27 °C e precipitações anuais entre 2000-3000 mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período seco (SANTOS *et al.*, 1985). Segundo os autores, na área de abrangência do estudo predomina o Latossolo Amarelo (LA), com diferentes texturas, ocorrendo também Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Glei Pouco Húmico (HGP) e Plintossolos. A área de abrangência da microbacia do rio Parafuso apresenta-se parcialmente recoberta com fragmentos de floresta primária com diferentes níveis de alteração antrópica, representados principalmente pela mata ciliar (SOUZA, 2007).

As médias mensais de precipitação pluviométrica no período de estudo, registadas pela estação meteorológica da Biopalma da Amazônia, S.A., evidenciam o processo de sazonalidade, com dois períodos distintos: o período de estiagem, que compreende os meses de julho a novembro; e o período chuvoso, que se estende do mês de dezembro ao mês de maio (Tabela 1). Observa-se, na tabela 1, que no período compreendido entre junho a dezembro do ano de 2010, o mês de novembro apresentou menor índice pluviométrico (36 mm), enquanto no ano de 2011 no mês de abril foi registado o maior índice pluviométrico (518 mm).

### 2.2. Avaliação do uso da água pelos moradores locais

Para estudar os diferentes usos da água do rio Parafuso e do seu afluente, pela população local, foram utilizadas ferramentas do Diagnóstico Rural Rápido Participativo (VERDEJO, 2006), como entrevistas semiestruturadas com 80 moradores



**Figura 1.** Localização da microbacia hidrográfica do rio Parafuso em Moju, PA. Fonte: EpiGeo/DSCM/CCBS/UEPA.

**Tabela 1.** Índice pluviométrico mensal (mm) na microbacia do rio Parafuso, durante o período de junho de 2010 a junho de 2011.

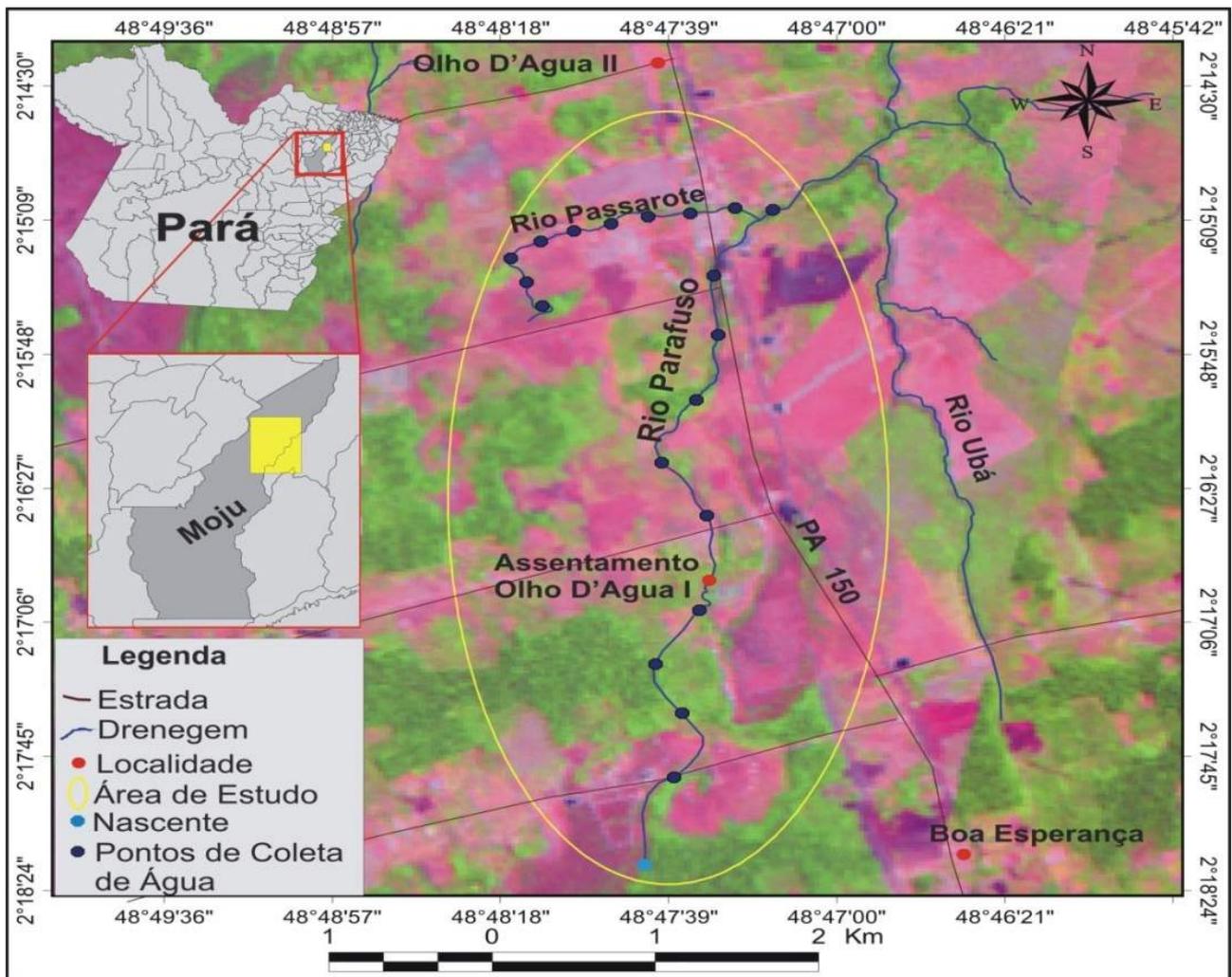
Anos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
2010	-	-	-	-	-	198	78	74	67	40	36	392	885
2011	235	241	278	518	400	220	-	-	-	-	-	-	1892

Fonte: Dados coletados na estação meteorológica da Empresa Biopalma da Amazônia, S.A. Unidades: mm.

locais, observação direta com registro fotográfico e questionários aplicados aleatoriamente a 186 moradores e, ainda, o mapeamento participativo. Foram realizadas, também, reuniões informais, que permitiram obter informação relevante referente ao cotidiano dos moradores da área em estudo. A participação de diferentes atores sociais (estudantes, professores, agricultores, funcionários de empresas privadas, moradores em geral) e “informantes-chaves” (professor, agente de saúde, enfermeiro, produtor, lideranças sindicais, diretores de cooperativas e moradores antigos) favoreceu a triangulação e aumentou a segurança dos dados coletados.

### 2.3. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água

Para avaliar a qualidade da água e compreender as interferências provocadas pelas ações antropogênicas, foram realizadas coletas de água sazonalmente nos dois rios, sendo duas amostragens durante o período de estiagem e duas amostragens no período chuvoso. Para isso, foram instalados 19 pontos equidistantes de coleta para amostragem, sendo 10 pontos instalados no rio Parafuso e 9 no rio Passarote (Figura 2). A instalação dos pontos de coleta levou em conta as diferentes fontes de poluição e os sistemas de uso da terra no entorno da microbacia de estudo.



**Figura 2.** Localização dos 19 pontos para a coleta de água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso. Fonte: EpiGeo/DSCM/CCBS/UEPA.

A caracterização e o ordenamento da microbacia de estudo, bem como a localização e instalação dos pontos de coleta, foram realizados com auxílio de técnicas de geoprocessamento, cartas cartográficas, imagens digitais e georreferenciamento. As coordenadas foram obtidas com o auxílio de um GPS (modelo Garmin 12 XL – Programa *Track Macker*).

Na recolha de amostras de água foram utilizadas bolsas esterilizadas tipo Nasco. Para obtenção da carência bioquímica de oxigênio (CBO) foram usadas garrafas de vidro devidamente esterilizadas. Os recipientes foram etiquetados, identificando o número do ponto, a hora e data de coleta. As amostras foram acondicionadas numa caixa térmica com gelo e, de seguida, transportadas para Belém (PA, Brasil).

Durante a coleta das amostras de água, foi mensurada a temperatura da água, utilizando termómetro de filamento de mercúrio (marca *Incoterm*). A análise físico-química e microbiológica da água foi realizada no Laboratório Central do Estado do Pará – LACEN.

Foram analisados os seguintes parâmetros: CBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, ferro, nitrogénio amoniacal, oxigénio dissolvido, pH, sólidos totais, temperatura e turbidez.

Todos os procedimentos de coleta e acondicionamento seguiram as recomendações metodológicas descritas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). Os parâmetros de qualidade de água analisados foram comparados com os limites preconizados pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), que define os limites e critérios para o enquadramento de corpos de água em classe 2. A Tabela 2 apresenta, resumidamente, a metodologia analítica empregada para a análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

#### 2.4. Análise dos dados

Para auxiliar a interpretação e discussão dos resultados sobre o uso da água na microbacia do

rio Parafuso, foi elaborada uma tabela contendo os principais usos dados pelos moradores locais. Os dados coletados referentes aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados com recurso testes de estatística descritiva e, de seguida, comparados com os limites preconizados pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Usos das águas dos rios

Os resultados obtidos mostram a multifuncionalidade dada às águas, tanto do rio Parafuso quanto do seu afluente Passarote e, ainda, que estes rios estão inseridos no cotidiano dos moradores locais. Cerca de 84,4% dos residentes utiliza os rios de várias formas e somente 15,6% não os utiliza para nenhum fim ou não sabem informar (Tabela 3).

Verifica-se na Tabela 3 que 64% dos moradores utiliza o rio para tomar banho, lazer e para atividades domésticas (lavar roupa e louça). Quase 9% dos moradores locais pratica a pesca artesanal no rio Parafuso, denotando que o mesmo ainda exerce um papel importante no fornecimento de proteína animal e, por conseguinte, na segurança alimentar destes moradores. Vale salientar que todas as formas de uso do rio são consideradas de contacto primário, ou seja, o usuário tem contacto direto com a água (Figura 3).

Como identificado na Tabela 3 e Figura 3, é notória a importância e utilização dos rios, por ser considerado um espaço que abriga as diversas atividades humanas. Porém, este facto não é suficiente para que os moradores locais conservem os recursos hídricos, pois as ações antrópicas praticadas por eles não são sustentáveis. O desmatamento da mata ciliar para o estabelecimento da agrovila, das atividades agrícolas e pecuária, por exemplo,

**Tabela 2.** Análises físicas, químicas e microbiológicas e suas respectivas metodologias.

Variável	Metodologia	Limite de detecção
Temperatura	Termometria	0,1 °C
pH	Potenciometria	0,01
Turbidez	Turbidometria	1 NTU
Ferro	Colorimétrico	0,1 mg/L
Sólidos totais	Condutivimetria	1,0 mg/L
Nitrogénio amoniacal	Colorimétrico	0,10 mg/L
CBO	Medição manométrica	0,1 mg/L
Oxigénio dissolvido	Colorimétrico	0,1 mg/L
Coliforme total	Enzima substrato quantitativo	1 NMP
<i>Escherichia coli</i>	Enzima substrato quantitativo	1 NMP

**Tabela 3.** Principais usos da água na microbacia do rio Parafuso.

Utilização do rio	Quantidade de moradores	Porcentagem (%)
Lazer	48	25,8
Atividade doméstica	40	21,5
Tomar banho	31	16,7
Não utilizam	18	9,7
Utilização para pesca artesanal	17	9,1
Não sabem informar	11	5,9
Colocar a mandioca de molho	8	4,3
Uso da água para dar de beber aos animais	8	4,3
Abastecimento de água	5	2,7
<b>Total (nº de amostras)</b>	<b>186</b>	<b>100</b>

Fonte: Pesquisa de campo



**Figura 3.** Multifuncionalidade do rio Parafuso. Usos do rio para lavar roupa e louça (A); lazer (B); criação de animais (C); para pesca (D).

Fonte: autores.

tem uma relação intrínseca entre o uso do solo e as águas dos rios da microbacia em estudo. Neste sentido, registros na literatura mostram que a diminuição da qualidade da água está diretamente relacionada com a conversão de áreas florestadas, principalmente para o uso agrícola ou urbano (AGUIAR *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2016).

### 3.2. Análise físico-química e microbiológica da água

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água coletada na microbacia do rio Parafuso encontram-se na Tabela 4. De maneira geral, observa-se que ocorrem pequenas diferenças entre os valores médios da temperatura da água nos períodos de estiagem e chuvoso. O maior valor de temperatura é constatado durante o período chuvoso e menor no período seco. O fato pode ser atribuído ao horário diferenciado da realização da coleta, que ocorreu em virtude das grandes precipitações do período chuvoso no horário matutino. Neste sentido, estudos realizados por PINHEIRO (1987) no estuário Guajarino, no município de Belém, demonstram que a temperatura da água e as suas oscilações são influenciadas pelas variações horárias, sendo que amplitude da variação diária é maior do que a amplitude sazonal.

Para ESTEVES (1998), nos trópicos as variações da intensidade luminosa e da temperatura são reduzidas entre diferentes estações do ano, mas com grandes variações no decorrer de 24 horas. Análises na microbacia do rio Arari, no Estado do Pará, realizadas por ALVES *et al.* (2012), revelam que ocorrem pequenas variações temporais no parâmetro temperatura. As maiores temperaturas foram registradas durante o período menos chuvoso, enquanto a menor foi encontrada durante o período de chuvoso. Cabe destacar que a temperatura é uma variável fundamental para a manutenção da vida aquática. Este fator ambiental controla todos os processos químicos ocorridos nos cursos de água, interferindo diretamente na capacidade de autodepuração, fenômeno natural em que o curso hídrico retorna às suas características iniciais depois de cessado o lançamento de efluentes (MOTA, 1997).

Os valores médios do pH nos períodos chuvoso e de estiagem são muito próximos, ocorrendo em torno de 5,7, mostrando que a água do rio Parafuso apresenta ligeira acidez. Este fato pode estar associado à quantidade de compostos ácidos presentes na água, resultantes da decomposição de material orgânico do ambiente e da contribuição da

área da bacia hidrográfica (SIOLI, 1957; PAIVA *et al.*, 2006; ALVES *et al.*, 2012; SIQUEIRA *et al.*, 2012).

Os valores máximos e mínimos encontrados para o pH nos dois períodos de avaliação no rio Parafuso não revelam variações muito expressivas. De um modo geral, os resultados estão abaixo ou no limite inferior dos valores padrão 6 a 9 para a qualidade de massas de água, recomendados pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Os valores médios do pH da água recolhida no rio Parafuso e no seu afluente são ligeiramente maiores que os valores obtidos por AGUIAR *et al.* (2014) no município de Santarém-PA. Os autores observaram médias ligeiramente ácidas de pH e variações não significativas do pH entre os períodos de amostragem. Os valores de pH encontrados pelos autores apresentam-se abaixo da faixa estabelecida pela legislação, com medianas de 4,9-5,6, durante a estação seca, enquanto, para a estação chuvosa, os valores oscilaram entre 4,9-5,4. Do mesmo modo, SILVA (2006), nos seus trabalhos sobre a avaliação da qualidade da água da Baía do Guajará e do Rio Guamá-PA, também não observou variações significativas do pH entre os períodos de amostragem, determinando valores entre 5,19-6,39.

Os valores médios de turbidez da água do rio Parafuso na época chuvosa e na de estiagem apresentam amplitude relativamente elevada, respetivamente, de 14,06-25,95 UNT. O aumento da turbidez no período de estiagem decorre,

provavelmente, da diminuição do caudal de água do rio, adicionado à presença de grande quantidade de material em suspensão presente nesse período (argilas, colóides, matéria orgânica, entre outros). Considerando os resultados apresentados na Tabela 1, de forma geral os valores de turbidez nos períodos de estudo apresentam-se dentro da faixa estabelecida pela legislação que preconiza para as massas de água de classe 2 até 100 NTU.

Os resultados obtidos indicam problemas pontuais ao longo do rio. Os pontos 1, 2 e 10 amostrados na microbacia hidrográfica do rio Parafuso apresentam os maiores valores de turbidez no período de estiagem (109 NTU, 107 NTU e 151 NTU, respectivamente). Estes valores ultrapassaram o estabelecido pela Resolução do CONAMA n.º 357/2005.

Foi observado, *in loco*, que os pontos 1 e 2 se apresentam comprometidos pela deposição de material oriundo da caixa de empréstimo, de onde foram retiradas terras para a construção de estradas. Para além deste aspeto, nesses pontos foi construída uma barragem para criação de animais, facto que contribui para a deposição de sedimentos. No ponto 10 acredita-se que a turbidez tenha sido gerada, principalmente, pela retirada de areia do leito do rio para construções de novas casas na área da vila Olho d'Água.

SANTOS *et al.* (2013), no estudo realizado no lago Água Preta, um dos reservatórios de água superficial que abastece a Região Metropolitana de Belém,

**Tabela 4.** Valores médios, medianas, máximos e mínimos de variáveis físico-químicas da água coletada na microbacia hidrográfica do rio Parafuso Moju, PA.

Parâmetros	T	pH	UNT	ST	Fe	N	OD	CBO	CT	<i>E. coli</i>
<b>Medidas</b>										
<i>Chuvoso</i>										
Média	29,00	5,75	14,06	16,98	0,30	0,35	8,88	0,32	5829,75	290,86
Máximo	29,50	6,94	35,88	96,40	0,80	0,90	12,50	1,30	24.196,00	2755,00
Mínimo	28,00	4,60	3,64	0,30	0,10	0,10	5,00	0,00	480,00	10,0
Mediana	29,10	5,70	8,20	13,60	0,30	0,35	9,15	0,20	5202,50	146,00
<i>Estiagem</i>										
Média	27,72	5,71	25,95	18,46	1,34	0,36	8,46	0,53	6919,78	264,39
Máximo	29,20	6,44	151,0	41,90	4,00	0,80	18,56	1,40	15.329,00	860,00
Mínimo	26,00	5,07	4,05	10,00	0,30	0,00	6,00	0,20	2046,00	10,00
Mediana	27,75	5,62	12,84	17,94	0,80	0,30	6,60	0,40	5196,00	215,00

Obs: T - Temperatura (°C); UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez; ST - Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Ferro (mg/L); N - Nitrogénio amoniacal (mg/L); OD - Oxigénio dissolvido (mg/L); CBO - Carência bioquímica de oxigénio (mg/L); CT - Coliformes totais (NMP/100 mL); *Escherichia coli* (NMP/100 mL).

comparam as variações mensais de turbidez com as médias mensais de precipitação pluviométrica do período estudado. Os autores verificam que em meses de maior precipitação são registados menores valores de turbidez, enquanto em meses com pouca chuva existe elevação nos valores de turbidez nos lagos, demonstrando a diluição das águas do lago pelas águas das chuvas.

Nos resultados encontrados por AMORIM *et al.* (2010), no rio Parauapebas-PA, os valores da turbidez da água alteram-se de acordo com as variações sazonais, indicando maior turbidez no período chuvoso (87,3 NUT) e menor no período seco (18,2 NUT).

Na Tabela 4 percebe-se que o valor médio de concentração de sólidos totais (ST) é maior na época de estiagem (18 mg/L), explicando-se por todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuírem para a carga de sólidos presentes. Ainda assim, a quantidade de minerais contidos na água pode diminuir por diluição (água da chuva) ou aumentar pela adição de detritos industriais.

RIBEIRO (2004) também encontrou altos valores de ST no Igarapé do Paracuri-PA, na época de estiagem (48,3 mg/L), o mesmo não acontecendo no rio Combu (25,5 mg/L). ALVES *et al.* (2012) encontraram as maiores concentrações de ST no período menos chuvoso (221,0 mg/L) na bacia hidrográfica do rio Arari, localizada na porção leste da ilha do Marajó-PA. Os autores observaram que na época chuvosa houve diminuição das concentrações.

Relativamente ao elemento ferro (Tabela 4), verifica-se um aumento expressivo da concentração no período de estiagem (1,34 mg/L) comparativamente ao período chuvoso (0,30 mg/L). A concentração deste elemento, na maioria dos pontos de análise, é superior ao valor 0,3 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005. O aumento da concentração desse elemento pode estar associado a diversos fatores observados no campo, entre eles, o processo avançado de erosão e assoreamento em que se encontra a microbacia e as atividades de extração de areia no leito do rio para a construção de novas moradias nas margens do rio Passarote e do seu afluente.

SIQUEIRA *et al.* (2012), no seu estudo no rio Parauapebas-PA, também observaram que o elemento Fe, em pontos específicos, não se encontrava no padrão estabelecido pela referida legislação. Segundo os autores, a maior concentração de ferro foi encontrada na área urbana, com médias de 0,52 mg/L.

As concentrações de nitrogénio amoniacal, nos diferentes períodos do ano, apresentam valores médios próximos, tanto no período chuvoso (0,35

mg/L) quanto no de estiagem (0,36 mg/L). As concentrações médias encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 (o valor máximo permitido é de 3,7 mg/L para  $\text{pH} \leq 7,5$ ). O nitrogénio amoniacal, em geral, está relacionado com a existência de efluentes e águas poluídas (MOTA, 1995). Com o passar do tempo, o nitrogénio orgânico é convertido em nitrogénio amoniacal e, posteriormente, se existem condições aeróbias, a oxidação da amónia ocorre, transformando-se em nitrito e nitrato.

O parâmetro químico oxigénio dissolvido (OD) também é fundamental para o diagnóstico da qualidade do meio hídrico. No rio Parafuso, a média geral obtida de OD foi de 8,46 mg/L no período de estiagem e de 8,88 mg/L no período chuvoso, enquadrando-se na Resolução CONAMA n.º 357/2005 (para rios de classe 2,  $\text{OD} \geq 5$  mg/L). AMORIM *et al.* (2010), no rio Parauapebas-PA, encontraram valores de OD que variam entre 5,3-10,2 mg/L. Todos os resultados encontrados ficam acima do valor mínimo estabelecido pelo enquadramento das massas de água superficiais, indicando, assim, uma excelente qualidade da água segundo este indicador.

No município de Santarém-PA, a maioria das microbacias estudadas por AGUIAR *et al.* (2014) apresentam teores de OD normais para os dois períodos sazonais, com maiores valores registados durante a estação das chuvas (5,1-9,1 mg/L) em relação ao período seco (2,1-8,6 mg/L). Todos os pontos da área de referência revelam, no período seco, valores abaixo do limite mínimo estabelecido, mas que se restabelecem durante a estação chuvosa.

A CBO demonstra, indiretamente, a quantidade de matéria orgânica presente na massa de água. A análise das amostras aponta que a CBO, nos dois períodos em estudo (período chuvoso – 0,32 mg/L; período de estiagem 0,53 mg/L), está em conformidade com o limite estabelecido de 5 mg/L pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

AMORIM *et al.* (2010), analisando o rio Parauapebas-PA, encontraram valores de CBO que variam de entre 0,5-2,0 mg/L no período de estudo, enquanto AGUIAR *et al.* (2014), ao avaliarem a qualidade da água no município de Santarém-PA, encontraram menores concentrações de CBO (mediana de 0,2 mg/L) durante a estação chuvosa. Segundo os autores, não foi observado comprometimento dos níveis de OD na água pela quantidade de matéria orgânica no período estudado.

Os coliformes totais (CT) são bons indicadores da qualidade das águas, sobretudo em relação à poluição por efluentes domésticos (SHIBATA

et al., 2004; APHA, 2005; ORTEGA et al., 2009). Assim, a determinação da concentração dos CT assume importância como parâmetro indicador da ocorrência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como a cólera e as febres tifóide e paratífóide.

Percebe-se na microbacia do rio Parafuso que o valor médio de CT é maior no período de estiagem (6920 NMP/100 mL). Os valores médios mais altos de CT são encontrados no rio Passarote, afluente do rio Ubá, que banha a Vila Olho d'água. A análise da concentração de *E. coli* dá conta que o valor médio é maior no período chuvoso (291 NMP/100 mL) comparativamente ao período de estiagem (264 NMP/100 mL), em que as planícies de inundação e os quintais das propriedades, onde estão construídos sanitários com fossas sépticas, são atingidos pelas águas.

ZUFFO et al. (2013), na caracterização da qualidade de águas superficiais em cinco das principais bacias hidrográficas do Estado de Rondônia, atestam a presença de CT em todas as bacias hidrográficas estudadas. SOUZA et al. (2015), na análise microbiológica do alto rio Pedreira-AP, identificam a presença de coliformes fecais apenas no período chuvoso.

A presença de CT, aliada à ocorrência de *E. coli*, está associada, no nosso ponto de vista, à inexistência de saneamento básico na vila Olho d'Água e ao lançamento do esgoto doméstico, incluindo resíduos das fossas sépticas construídas, nas margens dos rios Parafuso e Passarote. Além disso, é comum encontrarem-se criadouros de animais (bovinos, suínos e equinos) à beira destes rios.

De acordo com a resolução CONAMA n.º 357/05, é permitida a concentração de até 1000 *E. coli* em 100 mL de água, para massas de água da classe 2. Os valores médios que encontramos nos dois períodos de amostragem estão abaixo deste limite estabelecido pela legislação; todavia os resultados dos valores máximos e mínimos para os parâmetros de coliformes totais (48 NMP/100 mL e 24.196 NMP/100 mL) e *E. Coli* (10 NMP/100 mL e 2755 NMP/100 mL) levam a considerar a multifuncionalidade do rio Parafuso e do rio Passarote, pelo facto destes dois rios estarem inseridos no cotidiano dos moradores locais.

A pesquisa realizada em campo demonstra a multifuncionalidade do rio. É notória a importância e utilização dos rios para a comunidade, por ser considerado um espaço que abriga as diversas atividades humanas e, inclusive, um recurso para o consumo de água. O fornecimento da rede pública de água não abrange toda a comunidade

local e existem problemas relacionados com a sua distribuição, que ocorre através de um sistema coletivo de poço artesiano.

Através da observação, *in loco*, a área de estudo encontra-se sobre forte pressão antrópica. A atividade pecuária, de bovinos, suínos e equinos, prolifera nas margens do rio, com a finalidade de facilitar o acesso destes animais aos referidos recursos. A urbanização desordenada, que tem ocorrido na área, determina a retirada da cobertura vegetal, tanto pelas atividades económicas, quanto pela construção de vias de acesso e infraestruturas necessárias ao processo de ocupação.

Considera-se que existe uma situação de risco sanitário nos referidos rios, não apresentando condições de potabilidade, com capacidade de transmissão de enfermidades de veiculação hídrica. Fica evidente que as águas dos rios Parafuso e Passarote estão em desacordo com as normas preconizadas pela Portaria n.º 2914/2011, de 12 de dezembro, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que dispõe sobre os procedimentos de controlo e vigilância da qualidade da água para consumo humano e o seu padrão de potabilidade. A mesma determina que a água de consumo humano deve ter ausência total de *E. coli*, o principal indicador sanitário, situação contraditória na referida microbacia.

Relativamente ao saneamento básico, constata-se a inexistência de um aterro sanitário e a deficiente coleta diária de resíduos sólidos pela administração municipal. Muitos moradores da vila Olho d'Água depositam os seus resíduos sólidos urbanos nas margens dos rios, alterando a paisagem, servindo estes de abrigo para animais e insetos transmissores de doenças, que colocam em risco a saúde pública. A realidade ambiental observada na micobacia vai de encontro com a Política Nacional de Resíduos Sólidos ((Lei n.º 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010), que preconiza o correto gerenciamento e manejo destes resíduos, bem como o fechamento de todas as lixeiras a céu aberto em território nacional (BRASIL, 2010). A Lei Estadual 5887/1995, art. 70.º, proíbe o lançamento de resíduos sólidos, coletados por sistemas de limpeza, públicos ou privados, nos cursos de água e no solo a céu aberto (PARÁ, 1995).

Entre as patologias declaradas pelos inquiridos, foi relatada a presença de doenças que podem ser veiculadas pela água, tais como diarreia (19%), micoses (11%) e verminoses (3%). Também foi relatada a presença de enfermidades que apresentam o ciclo reprodutivo do agente patogénico relacionado com água, como a dengue (6%), infeções transmitidas por via respiratória (53%)

e doenças do sistema muscular e osteoarticular de origem não traumática (3%). Segundo os moradores locais, é no período de estiagem, quando o nível de água baixa e ocorre a diminuição da vazão dos rios, que as doenças veiculadas pela água aparecem com mais frequência.

#### 4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

Os rios que constituem a microbacia hidrográfica do rio Parafuso apresentam multifuncionalidade econômica, sociológica e estética e são importantes para os moradores locais, sobretudo para o lazer e fornecimento de água para execução das atividades domésticas cotidianas e produtivas. As atividades antropogênicas no assentamento Olho d'Água I e na vila Olho d'Água provocam alterações na qualidade das águas superficiais na microbacia de estudo.

As concentrações de Fe e de *E. coli*, em alguns pontos amostrais, ultrapassam os limites exigidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, para águas de classe 2, o que denota o comprometimento da qualidade da água para os diversos usos que a comunidade lhe dá. Estas constatações, aliadas à falta de saneamento na microbacia do rio Parafuso, demonstram a necessidade de políticas públicas que priorizem a saúde ambiental e a conservação da microbacia.

Entre as medidas capazes de minimizar os impactos sobre os cursos de água são recomendadas as seguintes ações: a) criação de um comitê, com a participação de moradores locais, para gestão da bacia hidrográfica do rio Ubá e dos seus afluentes; b) implantação de programas interdisciplinares e participativos de monitoração periódica das massas de água na área de estudo; c) manutenção e restauração das áreas de preservação permanente, como sejam as matas ciliares; d) preservação e restauração das áreas que circundam as nascentes, conforme recomenda a Lei 12.651..., de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012); e) implementação de programas de educação ambiental que visem valorar os recursos naturais (faunísticos, florísticos, hídricos, solo) e estimulem o uso sustentável destes recursos naturais; e f) adoção de políticas públicas de saneamento, meio ambiente e saúde, que levem em conta o conhecimento científico e os saberes das populações locais.

#### REFERÊNCIAS

AGUIAR, Christiane Patrícia Oliveira de; PELEJA, José Reinaldo Pacheco; SOUSA, Keid Nolan Silva – Qualidade da água em microbacias hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. *Revista Árvore*. [Em linha]. Vol. 38, n.º 6

(2014), p. 983-992. [Consult. 14 jul. 2016]. Disponível em WWW: URL: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n6/a03v38n6.pdf>. ISSN 1806-9088.

ALVES, Igor Charles Castor; EL-ROBRINI, Maamar; SANTOS, Maria de Lourdes Souza; MONTEIRO, Sury de Moura; BARBOSA, Leandro Patrick Ferreira; GUIMARÃES, José Tasso Feliz – Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*. [Em linha] Vol. 42, n.º 1 (2012), p. 115-124. Disponível em WWW: URL: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672012000100014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000100014). ISSN 0044-5967.

AMORIM, Sibeles Queiroz; MATTA, Milton Antônio da Silva; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno Nazareno; ASSIS, José Fernando Pina; MARTINS, Jorge Augusto Costa; DINIZ, Cesar Guerreiro, et al. – “Qualidade da água do manancial de abastecimento da cidade de Parauapebas – PA”. *Águas subterrâneas*. 2010. [Em linha] [Consult. 18 ago. 2012]. Disponível em WWW: URL: <https://aguassubterraneas.abas.org/abusubterraneas/article/view/23073>. ISSN 2179-9784.

APHA, American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> Ed.. APHA, AWWA, WEF. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – *Resolução n.º 357/2005, de 17 de março de 2005*. [Em linha]. [Consult. 26 jul. 2006]. Disponível em WWW: URL: <http://www.mma.gov.br>.

BRASIL – Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. [Em linha]. [Consult. 15 jun. 2012]. Disponível em WWW: URL: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm).

BRASIL. Ministério da Saúde – Portaria n.º 2914, de 12 de dezembro de 2011. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. [Em linha]. [Consult. 15 jun. 2012]. Disponível em WWW: URL: [http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/PortariaMS291412122011.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/PortariaMS291412122011.pdf).

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. [Em linha]. [Consult. 10 nov. 2013]. Disponível em WWW: URL: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – *Guia nacional de coleta e preservação de amostras*. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2011.

ESTEVES, Francisco de Assis – *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. ISBN 97-8857-1932-71-5.

- MOTA, Seutônio – *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2.<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. ISBN 97-8857-0221-18-6.
- MOTA, Seutônio – *Introdução à Engenharia Ambiental*. Rio de Janeiro: ABES, 1997. ISBN 85-70221-39-8.
- ORTEGA, Cristina; SOLO-GABRIELE, Helena M.; ABDELZAHER, Amir; WRIGHT, Mary; DENG, Yang; STARK, Lilian M. – Correlations between microbial indicators, pathogens, and environmental factors in a subtropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*. [Em linha]. Vol. 58, n.º 9 (2009), p. 1374-81. [Consult. 3 out. 2006]. Disponível em WWW: URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2735792/>. ISSN 0025-326X.
- PAIVA, Rosildo Santos; ESKINAZI-LEÇA, Enide; PASSAVANTE, José Zanon de Oliveira; SILVA-CUNHA, Maria da Glória Gonçalves da; MELO, Nuno Filipe Alves Correia de – Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará, Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*. [Em linha]. Vol. 2, n.º 1 (2006), p. 133-146. [Consult. 14 jan. 2010]. Disponível em WWW: [http://www.museu-goeldi.br/editora/bn/artigos/cnv1n2\\_2006/fitoplancton\(paiva\).pdf](http://www.museu-goeldi.br/editora/bn/artigos/cnv1n2_2006/fitoplancton(paiva).pdf).
- PARÁ. Lei Estadual n.º 5.887, de 9 de Maio de 1995. *Política Estadual do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Meio Ambiente*. [Em linha]. [Consult. 25 mar. 2015]. Disponível em WWW: URL: <http://www.semas.pa.gov.br/1995/05/09/9741/>.
- PEREIRA, Bruno Wendell de Freitas; MACIEL, Maria de Nazaré Martins; OLIVEIRA, Francisco de Assis; ALVES, Marcelo Augusto Moreno da Silva; RIBEIRO, Adriana Melo; FERREIRA, Bruno Monteiro; RIBEIRO, Ellen Gabriele Pinto – Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil *Revista Ambiente & Água*. [Em linha]. Vol. 11, n.º 2 (2016), p. 472-85. [Consult. 10 ago. 2016]. Disponível em WWW: URL: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n2/1980-993X-ambiagua-11-02-00472.pdf>. ISSN 1980-993X.
- PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário do Guajará-Belém (PA)*. 1987. Dissertação (Mestrado), Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém.
- REBOUÇAS, Aldo da C. “Água Doce no Mundo e no Brasil”. In REBOUÇAS, Aldo da C., BRAGA, Benedito, TUNDISI, José G. (Orgs.) – *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. 3.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Escrituras, 2006. ISBN 85-8630-34-10.
- RIBEIRO, Karla Tereza Silva Ribeira – *A água e saúde humana em Belém*. Belém: Cejup, 2004. ISBN 85-3380-46-1X.
- ROSA, Leonilde dos Santos – *Limites e possibilidades do uso sustentável dos produtos madeiros e não madeiros na Amazônia brasileira: o caso dos pequenos agricultores da Vila Boa Esperança, em Mojú, no Estado do Pará*. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido), Universidade Federal do Pará/Núcleo de Altos Estudos da Amazônia, Belém, 2002.
- SANTOS, P. L., SILVA, J. M. L., SILVA, B. N. R., SANTOS, R. D., REGO, G. S. – *Levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras para culturas de dendê e seringueira de uma área no município de Moju, Pará*. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS. Projeto Moju, Pará. Relatório técnico, 1985.
- SANTOS, Maria de Lourdes Souza; BORDALO, Adriana Oliveira; PEREIRA, José Almir Rodrigues; CHIRA, Pedro Andre; ALVES, Igor Charles Castor; SODRÉ, Silvana Socorro Veloso – Influência da expansão urbana na qualidade da água em reservatório da Região Amazônica (Belém, Pará). *Boletim Técnico Científico do Cepnor/Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. [Em linha]. Vol. 13, n.º 1 (2013), p. 15-22. [Consult. 10 ago. 2016] Disponível em WWW: URL: <https://cepnor.ufra.edu.br/index.php?journal=tjfas&page=article&op=view&path%5B%5D=1013&path%5B%5D=516>. ISSN: 1676-5664.
- SHIBATA, Tomoyuki; SOLO-GABRIELE, Helens M.; FLEMING, Lora. E.; ELMIR, Samir – Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment. *Water Research*. [Em linha]. Vol. 38, n.º 1 (2004), p. 3119-31. [Consult. 10 ago. 2016]. Disponível em WWW: URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2548301/>. ISSN 0043-1354.
- SILVA, Dirlene Ferreira da – *Utilização de indicadores biológicos na avaliação da qualidade da água da Baía do Guajará e do Rio Guamá (Belém-Pará)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Estudos em Ciência Animal, 2006. [Em linha] [Consult. 21 mar. 2016]. Disponível em WWW: URL: [http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/4694/1/Dissertacao\\_UtilizacaIndicadoresBiologicos.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/4694/1/Dissertacao_UtilizacaIndicadoresBiologicos.pdf).
- SIOLI, H. – pH values to Amazonian waters. *Bulletin of the Museum Paraense Emílio Goeldi*. N.º 1 (1957), p. 1-35.
- SIQUEIRA, Gilmar W.; APRILE, Fabio; MIGUÉIS, Antonio Miguel. Diagnóstico da qualidade da

água do rio Parauapebas (Pará - Brasil). *Acta Amazônica*. [Em linha] Vol 42, n.º 3 (2012), p. 413-422. [Consult. 27 out. 2014]. Disponível em WWW: URL: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672012000300014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000300014).

SOUZA, Albanise Ferreira – *Caracterização florística e estrutural da mata ciliar do rio parafuso, na bacia hidrográfica do rio Ubá, Moju-PA*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007.

SOUZA, Naziel Santos; SÁ-OLIVEIRA, Júlio César; SILVA, Erineide Silva – Avaliação da qualidade da água do alto rio pedreira, macapá-amapá. *Biota Amazônia*. [Em linha] Vol. 5 (2015), p. 107-118. [Consult. 12 set. 2016]. Disponível em WWW: <https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/1612/v5n2p107-118.pdf>. ISSN 2179-5746.

VERDEJO, Miguel Expósito – *Diagnóstico rural participativo: guia prático*. Brasília DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2006. [Em linha] [Consult. 19 set. 2007]. Disponível em WWW: URL: [http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user\\_arquivos\\_64/Guia\\_DRP\\_Parte\\_1.pdf](http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Guia_DRP_Parte_1.pdf). ISBN 978-85-60548-71.

ZUFFO, Cátia Eliza; NASCIMENTO, Gerson Flôres; ABREU, F. A. M.; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno – Caracterização da Qualidade de Águas Superficiais em Rondônia. *Anuário do Instituto de Geociências*. [Em linha] Vol. 36.2, n.º 1 (2013), p. 25-39. [Consult. 14 jul. 2016]. Disponível em WWW: URL: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/6960/5527>. ISSN 0101-9759.

# Avaliação de recursos hídricos subterrâneos através de análise de hidrogramas e o abastecimento público do Concelho de Manteigas (Centro de Portugal)

## *Groundwater resources assessment using hydrograph analysis and the public water supply of the Manteigas County (Central Portugal)*

J. L. Mendonça<sup>1</sup>, F. Serranito<sup>2</sup>, P. Fontes<sup>2</sup>, N. Reis<sup>2</sup>, P. Alves<sup>2</sup> e J. Duarte<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hidrogeólogo, consultor independente, Membro da APRH n.º 254, lopomend@sapo.pt

<sup>2</sup> EPAL- Empresa das Águas Livres, S.A., Lisboa, Portugal

**RESUMO:** O abastecimento de água ao concelho de Manteigas faz-se exclusivamente com origem em emergências de águas subterrâneas localizadas nas encostas que delimitam o vale do rio Zêzere. O abastecimento é totalmente gravítico. A área do concelho e as captações localizam-se no Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE). Numa geomorfologia de montanha, ocorrem granitos e rochas metassedimentares ante-ordovícicas (Grupo das Beiras do Supergrupo Dúrico-Beirão) e depósitos quaternários glaciários, fluviais e de vertente. As captações drenam aquíferos descontínuos daquelas rochas duras e o regime do caudal segue o ciclo anual das precipitações. Num contexto de grande complexidade hidrológica e hidrogeológica e de falta de dados, na avaliação dos recursos hídricos é utilizado um método de decomposição dos hidrogramas anuais da estação hidrométrica de Manteigas através do programa de computador WHAT. A separação do caudal de base permite estimar os recursos hídricos subterrâneos renováveis. A estação hidrométrica localiza-se alguns quilómetros a montante da saída do vale glacial do rio Zêzere. Os dados calculados são extrapolados para algumas bacias de afluentes daquele rio localizadas a jusante e de onde não havia prévia informação hidrogeológica e estimativa dos recursos hídricos. Na bacia do vale glacial do Zêzere, há concordância entre os valores calculados pela análise de hidrogramas e os determinados pelo modelo de balanço sequencial Visual Balan.

**Palavras-chave:** abastecimento público de água, recursos hídricos subterrâneos, análise de hidrogramas, caudal de base, recarga das águas subterrâneas, modelo WHAT, hidrogeologia de zonas montanhosas, hidrogeologia das rochas duras, Serra da Estrela (Centro de Portugal).

**ABSTRACT:** The water supply of the Manteigas County, Central Portugal, is exclusively supported by groundwater springs on the slopes of the Zêzere river valley. The transport of water is totally gravity powered. The area of the Manteigas County and the springs are located in the Serra da Estrela Natural Park. Poorly weathered granitic and preordovician metasedimentary rocks (Beiras Group, Dúrico-Beirão Supergroup) and some fluvial and glacial quaternary deposits occur in this mountainous region. The springs are fed by hard rock discontinuous aquifers. They generally suffer a decrease in flow and some of them dried up in the warm and dry season. In the context of great complexity of the hydrological system itself and scarcity of experimental data, the best solution for the assessment of the sustainable groundwater resources is possibly to use black-box models. In this study, the separation of the base flow from the varying streamflow hydrographs of the Manteigas gauging station is performed by the digital Eckhardt filter incorporated into the Web based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) system. The streamflow gauging station is located some kilometers upstream of the outlet of the Zêzere river glacial valley. The base flow is used to estimate the amount of recharge to the discontinuous aquifers. The results of the hydrograph analysis are carefully extrapolated for catchments of subsidiary rivers downstream the Manteigas gauging station where there was no previous hydrogeological knowledge and groundwater resources assessment. There is no important discrepancy between the results of the hydrograph analysis and the sequential balance analyses calculation by the Visual Balan model at the Manteigas gauging station basin.

**Keywords:** Manteigas village water supply, groundwater resources, hydrograph analysis, baseflow separation, groundwater recharge, WHAT model, mountain hydrogeology, hard-rock hydrogeology, Serra da Estrela (Central Portugal).

Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 38, Nº 2, 63-79, dezembro de 2017.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh38n2-cti3

## 1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água ao concelho de Manteigas faz-se exclusivamente com origem em águas subterrâneas de nascentes, minas e três furos horizontais localizados nas encostas que delimitam o vale do rio Zêzere, em pleno coração do Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE). É constituído por três subsistemas de abastecimento autónomos: Vale de Amoreira, Sameiro e Manteigas. Em todos os subsistemas, o transporte da água a partir das captações é integralmente gravítico.

O caudal destas captações tem variações sazonais que seguem o ciclo anual das precipitações: caudal elevado no período frio e húmido, que ultrapassa a capacidade de transporte e a procura, e caudal bastante mais reduzido no verão que, nalguns anos de maior secura, provoca dificuldades à gestão do sistema de abastecimento.

De um modo geral, pode considerar-se que os recursos hídricos subterrâneos constituem a fração dos recursos hídricos totais que passa pela zona saturada e que pode ser extraída ou explorada antes ou quando do regresso ao ramo superficial do ciclo hidrológico (recursos hídricos subterrâneos renováveis).

Com exceção do território do núcleo de captações do vale glacial do rio Zêzere, que fazem parte do subsistema de Manteigas, há muito pouca ou nula informação sobre as condições hidrogeológicas e climáticas nas áreas de captação dos outros subsistemas. Sobre a bacia hidrográfica e hidrogeológica do vale glacial existe bibliografia recente, Daveau *et al.* (1997), Vieira (2004), Samper *et al.* (2005 e 2007), Afonso *et al.* (2006), Espinha Marques *et al.* (2009), Carreira *et al.* (2011), Espinha Marques *et al.* (2011), Caldas (2012), Espinha Marques *et al.* (2013) e Samper *et al.* (2015).

Respeitante ao período de 1986/87 a 1994/95, a avaliação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica correspondente ao vale glacial do rio Zêzere, a montante da estação hidrométrica de Manteigas (código INAG 11L/01H), foi feita por Espinha Marques *et al.* (2006, 2009, 2011 e 2013), Samper *et al.* (2005 e 2007) e Samper *et al.* (2015) utilizando o programa Visual Balan (Samper *et al.* 1999).

A bacia hidrográfica e a bacia hidrogeológica cujas áreas coincidem, no seu conjunto, funcionam como um filtro temporal e sequencial, que transforma o sinal de entrada (água da precipitação) num sinal de saída (caudal da linha de água).

Por via dos fenómenos que se passam na bacia, a água da precipitação separa-se em vários tipos de escoamento (Lencastre e Franco, 1984) que é possível identificar e quantificar a partir dos hidrogramas das estações hidrométricas.

Se no estudo da fenomenologia se perde muito pormenor, na obtenção dos resultados práticos que na maioria dos casos se procuram conhecer - os recursos hídricos disponíveis, superficiais e subterrâneos - obtém-se clareza e rapidez e exige-se menos esforço que nos modelos de balanço sequencial.

Na avaliação dos recursos hídricos disponíveis na região do concelho de Manteigas feita neste artigo utiliza-se um método de decomposição dos hidrogramas anuais da estação hidrométrica de Manteigas através do filtro digital de Eckhardt que está incorporado no programa de computador WHAT (Lim *et al.*, 2005).

O estudo inclui a análise de quarenta hidrogramas anuais da estação hidrométrica de Manteigas que pertencem a uma série descontínua que vai do ano hidrológico de 1949/50 a 2010/2011 (SNHIR, <http://snirh.pt/>).

O inventário de nascentes e galerias de mina que abastecem o concelho de Manteigas foi realizado em meados do mês de abril de 2016.

## 2. MÉTODOS DE ESTUDO

Num contexto de grande complexidade dos sistemas hidrológicos/hidrogeológicos e de escassez de dados experimentais, justifica-se a aplicação de modelos simples, do tipo caixa-negra, onde a precipitação e o caudal na linha de água representam, respetivamente, a entrada e saída do modelo. Estes modelos não requerem informação prévia sobre a estrutura e os parâmetros que regem o escoamento superficial e subterrâneo dos sistemas.

Entre os vários métodos para estimar os recursos hídricos subterrâneos renováveis (recarga da água subterrânea) inclui-se a análise de hidrogramas registados em estações hidrométricas (Oliveira, 2004). O hidrograma descreve a evolução do escoamento na linha de água ao longo do tempo; a sua configuração depende das características físicas da bacia hidrográfica e das condições climáticas.

A análise dos hidrogramas, na perspetiva deste estudo, consiste na separação do escoamento direto do escoamento de base. Este considera-se que representa a água que atinge a superfície freática, aumenta o armazenamento e o escoamento de água subterrânea e acaba por ser drenado e representar a contribuição das águas subterrâneas para o escoamento na rede hidrográfica.

Em ordem a evitar uma profusão de relações entre índices de escoamento e características das bacias hidrográficas, o relatório *Low Flow Studies* (Institute of Hydrology, 1980) recomendou o uso do *Base Flow*

*Index (BFI)* para indexar o efeito da geologia nos escoamentos (Gustard *et al.*, 1992). O *BFI* é a relação entre o escoamento de base e o escoamento total. Os métodos comuns de separação de componentes do hidrograma e do cálculo do *BFI* são ou gráficos que incidem na definição dos pontos onde a curva do escoamento de base intersecta as curvas de subida e de descida dos hidrogramas ou envolve filtros matemáticos onde a análise do hidrograma completo permite calcular o hidrograma do escoamento de base. Os últimos métodos, que não têm fundamento de natureza hidrológica, removem a subjetividade da separação manual e cumprem o objetivo de gerar uma resposta coerente, reproduzível e facilmente automatizável para a separação do escoamento de base (Nathan e McMahon, 1990).

Na primeira categoria incluem-se algoritmos que não são mais que aplicações de técnicas programáveis de separação e suavização do hidrograma do escoamento médio diário (Gustard *et al.*, 1992). O programa HYSEP (Sloto e Crouse, 1996), incluído nesta categoria, tem três métodos de separação do caudal de base: intervalo-fixo, intervalo-deslizante e mínimo-local.

Os métodos baseados em filtros digitais recursivos utilizam uma técnica usada originalmente na análise de processamento de sinais: separam os de alta dos de baixa frequência (Chapman, 1987; Nathan & McMahon, 1990; Arnold *et al.*, 1995; Eckhardt, 2005; e Lim *et al.*, 2005). Na filtragem, o escoamento de base corresponde às baixas frequências e o escoamento direto às altas frequências.

Nathan & McMahon (1990) propõem o filtro:

$$f_k = \alpha f_{k-1} + \frac{(1+\alpha)}{2}(y_k - y_{k-1}) \quad (1)$$

onde  $f_k$  é a resposta do escoamento direto filtrada no instante  $k$  do hidrograma,  $y_k$  é o valor original do hidrograma e  $\alpha$  é o parâmetro de filtragem. O valor recomendado do parâmetro de filtragem para análises efetuadas com valores diários é 0,925 e com três aplicações sucessivas do filtro (i.e. tempo crescente - tempo decrescente - tempo crescente). Este filtro é utilizado no programa BFLOW e, por isso, também é conhecido como "filtro BFLOW". Neste estudo, a separação do escoamento de base é feita pelo programa WHAT (Lim *et al.*, 2005) que incorpora o filtro digital de Eckhardt (2005) cuja expressão é:

$$b_t = \frac{(1 - BFI_{max}) \alpha + b_{t-1} + (1 - \alpha) BFI_{max} Q_t}{1 - \alpha BFI_{max}} \quad (2)$$

onde  $b_t$  é o escoamento de base filtrado no tempo  $t$ ,  $b_{t-1}$  é o escoamento de base calculado no tempo  $t-1$ ,  $BFI_{max}$  é o valor máximo da razão entre o escoamento de base e o escoamento total,  $\alpha$  é o parâmetro de filtragem e  $Q_t$  é o escoamento total no tempo  $t$ .

$BFI_{max}$  é a variável introduzida neste filtro que permite considerar as condições hidrogeológicas locais. Eckhardt (2005) propõe o uso de valores  $BFI_{max}$  de 0,80 para linhas de água perenes em aquíferos porosos, de 0,50 para cursos de água intermitentes em aquíferos porosos e de 0,25 para escoamentos de linhas de água perenes em aquíferos fraturados (*hard rock aquifers*).

Em Brodie & Hostler (2005), o leitor encontrará outros filtros digitais recursivos usados na análise de hidrogramas.

### 3. A ÁREA DE ESTUDO

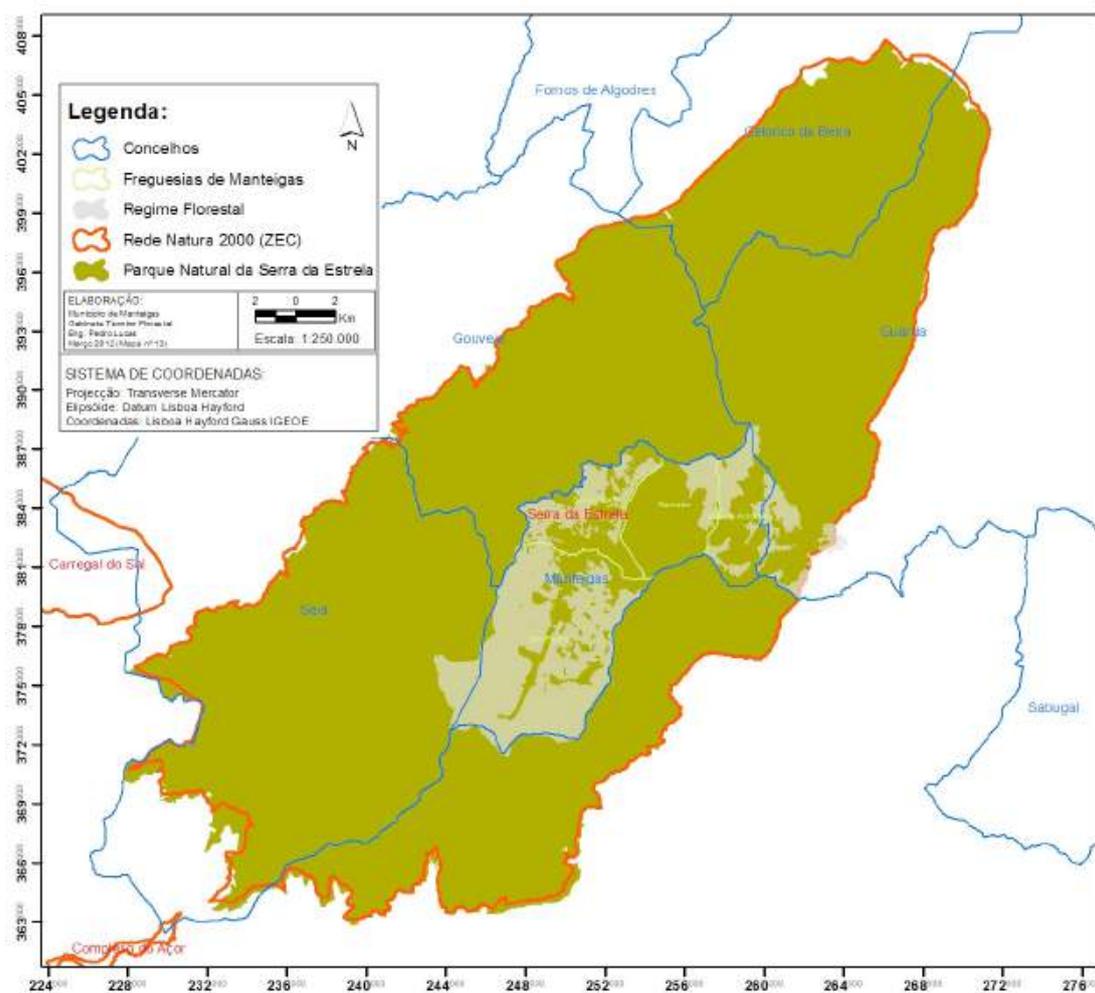
Toda a área do concelho de Manteigas se integra no Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE) e inclui a bacia hidrográfica do vale glacial do rio Zêzere em cujo leito se localiza a estação hidrométrica de Manteigas, única no troço do rio Zêzere que atravessa o concelho, Figura 1.

A cabeceira do rio Zêzere vai até ao Alto da Torre (1993 m) e individualiza-se na base do Cântaro Magro onde toma o rumo para NNE através de um percurso retilíneo por vale glacial profundo de perfil característico em U, até às proximidades da vila de Manteigas. Aqui inflete para nascente através de um percurso sinuoso com inflexões de direção importantes, de controlo litológico e tectónico. Passa por Sameiro, Vale de Amoreira e Valhelhas onde muda de direção para ESE.

No percurso retilíneo pelo vale glacial, as encostas muito íngremes são dominadas pelo planalto da Torre-Penhas Douradas (1450-1993 m) a ocidente e pelo planalto do Alto da Pedrice-Curral do Vento (1450-1761 m) a oriente.

Do ponto de vista morfotectónico, a Serra da Estrela situa-se na zona Centro-Ibérica. As principais unidades geológicas que ocorrem na região e em particular no concelho de Manteigas são (Figura 2):

- Granitos hercínicos de diferentes texturas, granularidades e composições mineralógicas: predomina o granito porfiróide de grão médio-grosseiro essencialmente biotítico ou biotítico-moscovítico.
- Rochas metassedimentares que no conjunto são incluídas no Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico (Grupo das Beiras do Supergrupo Dúrico-Beirão); nas zonas de contato com os



**Figura 1.** Parque Natural da Serra da Estrela (com delimitação dos concelhos interessados). Na área do concelho de Manteigas, a área em regime florestal é delimitada com sobrecarga (PMDFI).

granitos originam-se orlas de metamorfismo com formação de corneanas e xistos mosqueados.

- Depósitos aluvionares, glaciários quaternários, cones de dejeção e de pé de encosta ao longo do vale glacial do rio Zêzere. A largura e a espessura dos depósitos no fundo do vale aumentam de montante para jusante.

A tectónica é dominada por acidentes de orientação NNE-SSW que representam a megaestrutura regional designada por zona de falha de Bragança-Vilariça-Manteigas, a qual corresponde a um desligamento com movimento esquerdo e que constitui uma das mais importantes estruturas tardi-hercínicas de Portugal (Cabral, 1995).

As características geológicas, à semelhança das climáticas, das geomorfológicas e da ocupação do território, constituem uma componente física decisiva que controla a ocorrência, o movimento e as características físico-químicas da água, isto é, influencia as características e potencialidades dos sistemas hidrogeológicos, dos sistemas

hidrológicos superficiais, e dos sistemas de escoamento subterrâneo profundo que entram no domínio da geotermia.

A água das nascentes e galerias de captação dos subsistemas de Vale de Amoreira, de Sameiro e das captações do subsistema de Manteigas localizadas na encosta a NW da vila, emerge em encostas íngremes/muito íngremes, na parte superior de bacias hidrográficas de linhas de água de ordem 1, muitas vezes cerca de duas a três centenas de metros abaixo de superfícies de aplanamentos (Figura 3).

No vale glacial do rio Zêzere as nascentes localizam-se predominantemente na encosta oriental. A jusante do vale glacial, as nascentes e galerias localizam-se em encostas onde predominam as exposições a sul. Neste caso, resulta uma maior exposição à luz solar, aumento da evapotranspiração e a consequente diminuição da infiltração e recarga das unidades aquíferas.

Por oposição ao que foi dito sobre o efeito da evapotranspiração, a exposição das encostas

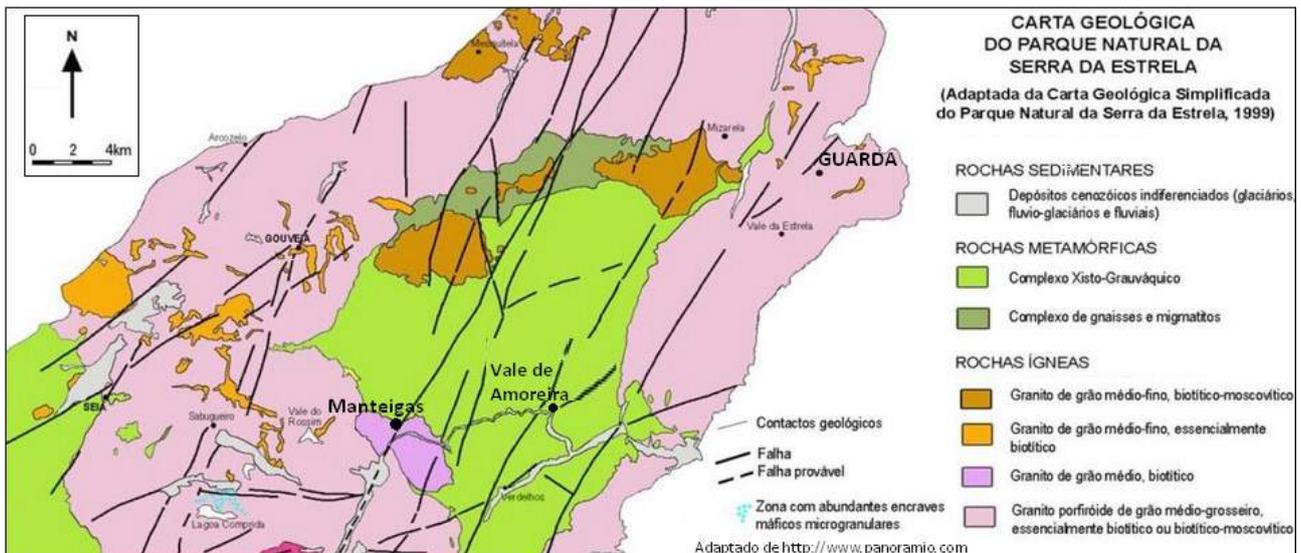


Figura 2. Extrato da adaptação da Carta Geológica Simplificada do Parque Natural da Serra da Estrela de 1999.

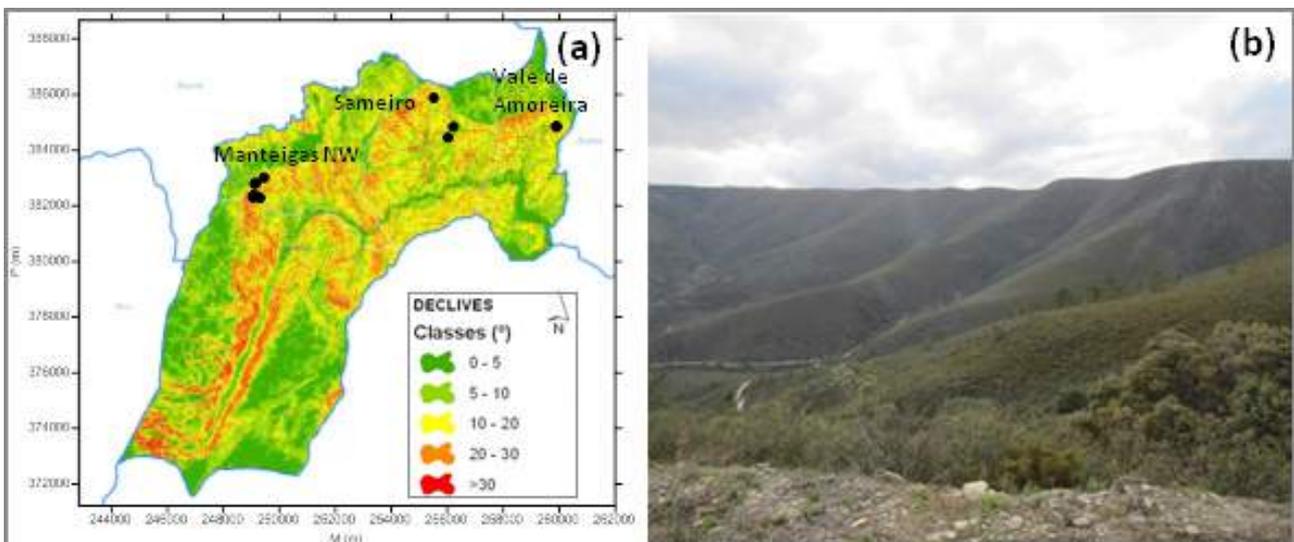


Figura 3. (a) Mapa de declives (PMDFI), com indicação da localização de nascentes e minas dos subsistemas de Vale de Amoreira, Sameiro e Manteigas (captações a NW de Manteigas) e (b) Vista para a vertente oriental do vale do ribeiro do Sameiro: arvoredo ao longo das linhas de água, predomínio do mato nos interflúvios e linha do horizonte definida pelo aplanamento com cerca de 1250 m de altitude.

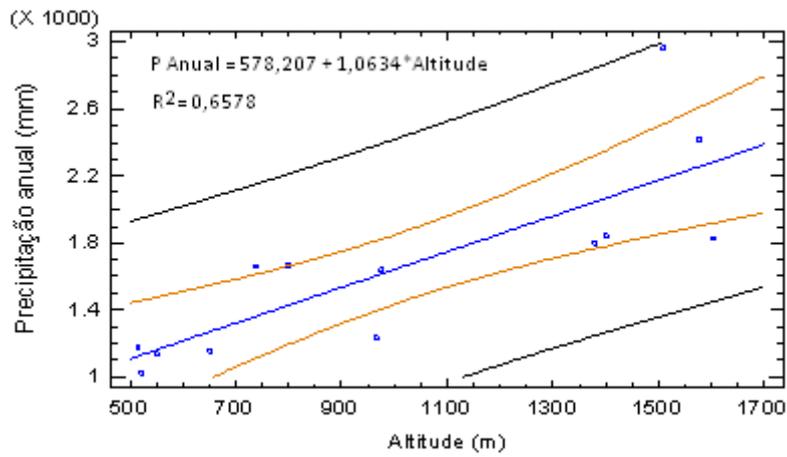
a sul, onde se localizam muitas das nascentes, é particularmente recetiva às chuvadas que acompanham os ventos do quadrante sul.

Tanto a temperatura como a precipitação variam com a altitude: a temperatura decresce e a precipitação aumenta (Figura 4 a Figura 6). No entanto, acima dos 1500 m de altitude, não é clara a importância da altitude na distribuição da precipitação: o valor médio anual mais elevado registado no período de 1951/80 foi de 2965 mm em Penhas da Saúde à altitude de 1510 m. A estação climatológica de Lagoa Comprida e o posto udométrico Covão do Ferro, localizados a 1604 m e 1577 m, registaram

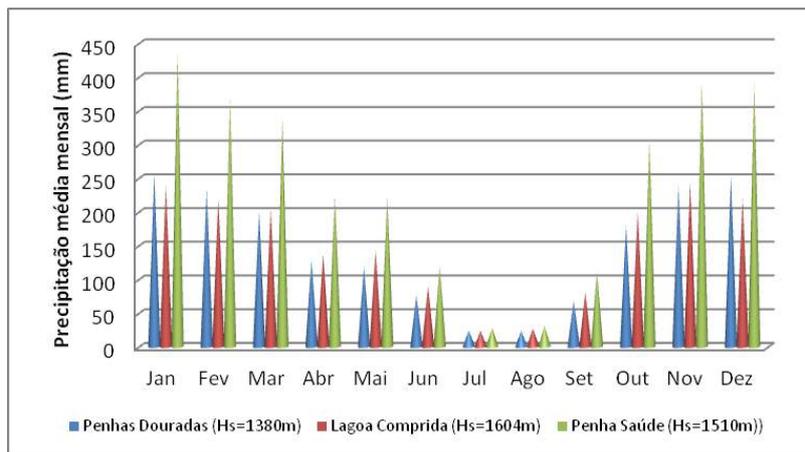
no mesmo período os valores médios anuais de 1826 mm e 2417 mm. As grandes quedas de neve aparecem, geralmente, de dezembro a março.

O clima, com influência mediterrânica e atlântica, apresenta verões quentes e secos e invernos frios e chuvosos/niveais. De acordo com a classificação climática de Köppen, é um clima do tipo CSb (clima moderado húmido com verão seco).

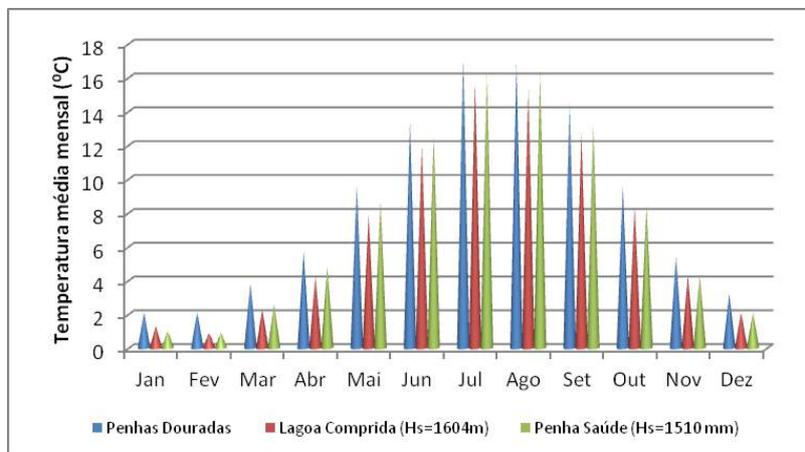
Determinaram-se os balanços hidrológicos sequenciais mensais médios ao nível do solo considerando os valores da precipitação das estações climatológicas de Penhas da Saúde e Penhas Douradas (1951/80). Considerou-se como



**Figura 4.** Regressão linear da precipitação anual sobre a altitude. A reta de regressão calculada pelo método dos mínimos quadrados tem cor azul; o limite do intervalo de confiança da reta de regressão é indicado pelas duas linhas de tom amarelado; as linhas de cor preta indicam o intervalo de predição para a variável dependente; os limites estão definidos para o nível de confiança de 95 %.



**Figura 5.** Precipitação média mensal nas estações climáticas de Penhas Douradas, Lagoa Comprida e Penhas da Saúde (período de 1951-1980), entre parêntesis é indicada a altitude das estações.



**Figura 6.** Temperatura média mensal nas estações climáticas de Penhas Douradas, Lagoa Comprida e Penhas da Saúde (período de 1951-1980), entre parêntesis é indicada a altitude das estações.

evapotranspiração potencial média mensal o valor que resulta do produto do número de dias de cada mês pelo valor médio diário (mm/d) da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>). O valor máximo de água disponível para a utilização das plantas foi de 50 mm.

Do balanço sequencial de Penhas da Saúde (Figura 7) destacam-se os valores médios da precipitação de 2965 mm/ano, da evapotranspiração real de 724 mm/ano e dos excedentes de 2241 mm/ano. Do balanço com os valores médios da estação climatológica de Penhas Douradas (precipitação média anual igual a 1799 mm) calcularam-se os valores médios da evapotranspiração real de 655

mm/ano e dos excedentes de 1144 mm/ano.

A rede hidrográfica no território das freguesias de Vale de Amoreira, de Sameiro e da parte oriental da freguesia de Santa Maria desenvolve-se em formações do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico com configuração dendrítica e com interflúvios arredondados. Mais a sul, na freguesia de São Pedro, que inclui o vale glaciário, onde afloram os granitos, a rede hidrográfica torna-se mais retilínea e quadrangular, seguindo alinhamentos tectónicos e fraturas nos granitos.

A bacia hidrográfica da EH de Manteigas tem a área aproximada de 27,51 km<sup>2</sup> (SNIRH); Caldas (2012) propõe 28,31 km<sup>2</sup> (Figura 8).

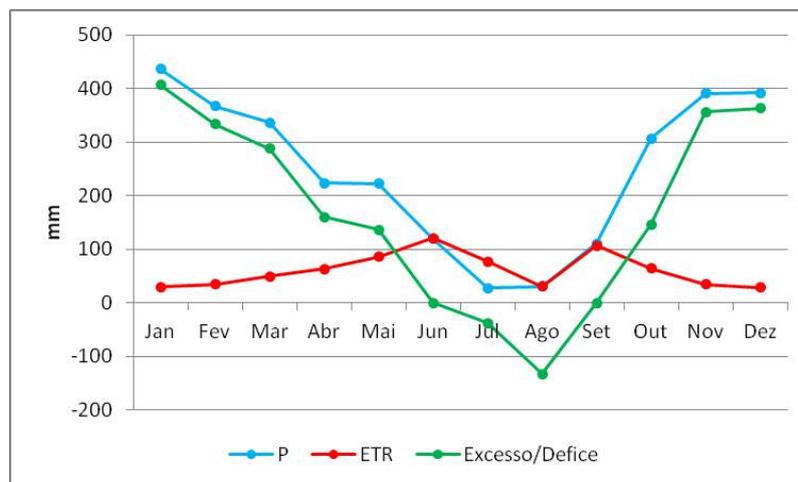


Figura 7. Balanço hidrológico sequencial mensal ao nível do solo (Penhas da Saúde).

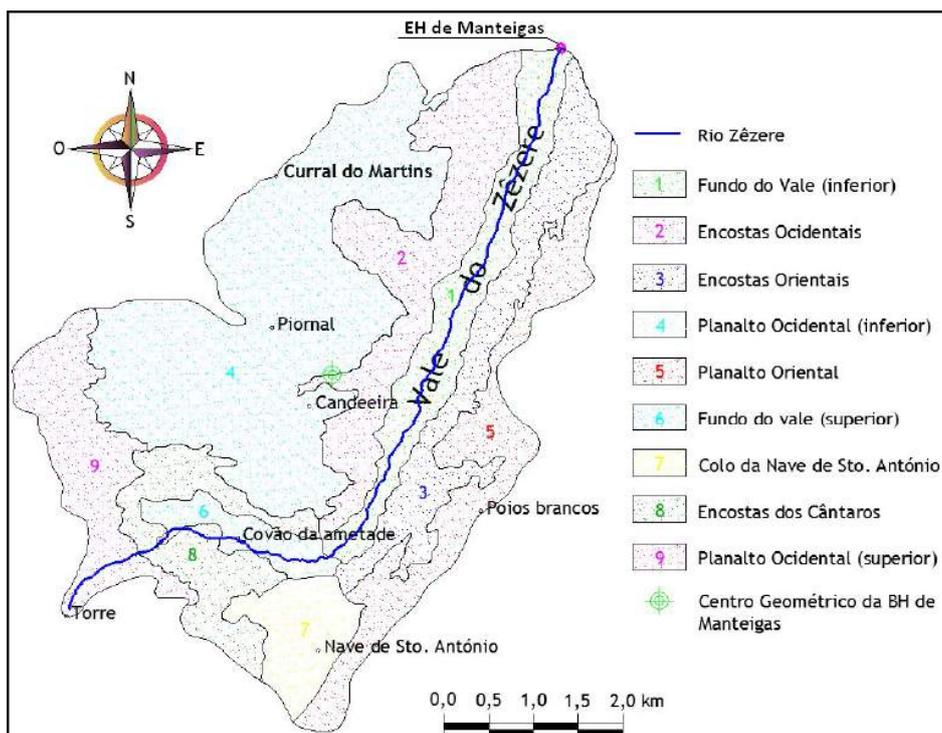


Figura 8. Delimitação da bacia hidrográfica e unidades hidrogeo-morfológicas (Caldas, 2012).

#### 4. AS CAPTAÇÕES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

O sistema de abastecimento é constituído por três subsistemas autónomos: o de Vale de Amoreira, o de Sameiro e o de Manteigas (Figura 3).

- O subsistema de Vale de Amoreira inclui duas nascentes e três furos horizontais localizados nas encostas do vale da ribeira de Amoreira, Figura 9 (a).
- Do subsistema de Sameiro fazem parte três galerias nas encostas do vale da ribeira de Sameiro, Figura 9 (b), conhecidas como do Sameiro Velho.
- O subsistema de Manteigas inclui sete nascentes e minas localizadas na encosta que desce do planalto de Penhas Douradas para Manteigas, na parte superior das bacias hidrográficas da ribeira da Vila e da ribeira de Fronhas (captações a NW de Manteigas), Figura 9 (c), (d) e (e).

- O subsistema de Manteigas inclui captações localizadas na encosta oriental do vale glacial do rio Zêzere: as nascentes de Paulo Luís Martins (Figura 9 (f)) e do Mouco a montante da EH de Manteigas e, a jusante, nas proximidades das Caldas, as nascentes Fonte Santa 1, 2 e 3.

Em todos os subsistemas, o transporte da água é integralmente gravítico.

As captações dos subsistemas de Vale de Amoreira e de Sameiro localizam-se em formações do Complexo Xisto-grauváquico ante-Ordovícico. As captações a NW de Manteigas captam em metassedimentos da orla metamórfica de contato provocada pela intrusão dos granitos, em granitos de grão médio ou médio a fino, não porfiróides e uma em depósito quaternário. As localizadas na encosta oriental do vale glacial captam em granitos porfiróides de grão médio a grosseiro entre as quais a nascente de Paulo Luís Martins que é a mais produtiva do concelho e cujo caudal é repartido entre uma fábrica de engarrafamento de água e o abastecimento público de Manteigas.



**Figura 9.** Exemplos de captações do abastecimento de água do concelho de Manteigas: (a) Nascente ao centro da fotografia (porta de cor azul) e furos de captação horizontais do subsistema de Vale de Amoreira; (b) Emergência de água em formações do complexo xisto-grauváquico no final de uma mina com 13 m de comprimento, subsistema de Sameiro; (c) Captação em depósito quaternário no final de galeria com 12 m de comprimento, subsistema de Manteigas NW; (d) Emergência no contato com corneanas por uma espécie de único "bolhão" (5 L/s) localizado na base do final do hasteal esquerdo de galeria de 5,6 m de comprimento, subsistema de Manteigas NW; (e) Emergência em granito de grão médio, biotítico, no final de galeria com cerca de 70 m de comprimento, subsistema de Manteigas NW; (f) Nascente Paulo Luís Martins em granitos do vale glacial, a água em excesso da capacidade de transporte cai em cachoeira ao longo da encosta até ao nível da estrada, em cuja berma existe um chafariz de duas bicas, subsistema de Manteigas.

As formações metassedimentares e os granitos fora do vale glacial estão recobertos por depósitos de vertente contínuos, regra geral com espessura métrica, que permitem o enraizamento de vegetação rasteira (mato) especialmente nos interflúvios da bacia do ribeiro de Sameiro, de flora variada nas zonas húmidas dos talvegues (espécies ripícolas) e dos povoamentos florestais de pinhal bravo e mistos de folhosas e resinosas.

Os depósitos de vertente e a vegetação desempenham um papel importante na infiltração da água das precipitações por retardarem e dificultarem o escoamento superficial. Apesar deste fator favorável, o elevado declive e a reduzida capacidade de armazenamento das rochas xistosas, grauváquicas e graníticas, fazem com que a maioria das emergências forneça caudal de 0,5 L/s a 2 L/s no final da estação húmida. Como é comum nas emergências em rochas duras há importante variação sazonal do caudal que nalguns casos levam à improdutividade na estação quente e seca.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo inclui a análise de quarenta hidrogramas anuais da estação hidrométrica de Manteigas que pertencem a uma série descontínua que se inicia no ano hidrológico de 1949/50 e termina em 2010/2011 (Figura 10).

Esta série inclui quatro subséries: de 1949/50 a 1954/55 (5 anos, descontínua), de 1959/60 a 1970/71 (12 anos, contínua), 1978/79 a 1995/96 (18 anos, contínua) e 2004/05 a 2010/11 (5 anos, descontínua).

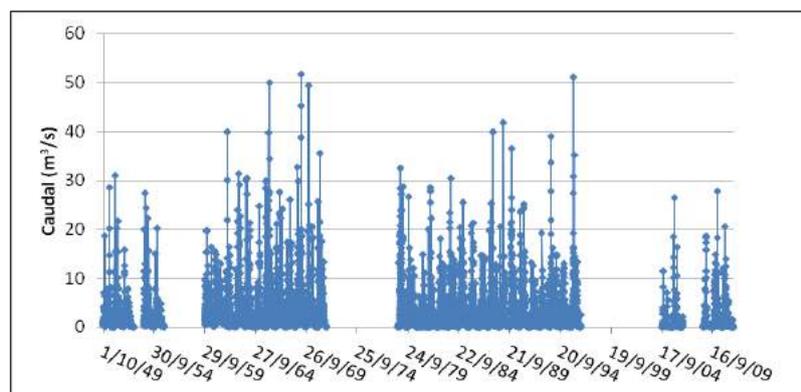
Considerando o escoamento na estação hidrométrica, do teste estatístico de Fisher (LSD - *least significant difference*) conclui-se que há diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos valores anuais do escoamento das quatro subséries para o nível de confiança de 95 %.

A subsérie de 2004/05 a 2010/11 é a que tem a média mais baixa (880 mm/ano); a subsérie de 1959/60 a 1970/71 é a de média mais elevada (2676 mm/ano); e a subsérie de 1949/50 a 1954/55 (média 1838 mm/ano) forma um grupo homogéneo quanto à média com a série de 1978/79 a 1995/96 (média 1932 mm/ano). Isto é, a série de valores de 40 anos que foi estudada inclui anos de condições climáticas variadas que se admite representarem o escoamento da bacia no longo prazo.

Além da separação das componentes dos hidrogramas da série de 40 anos, será considerada a análise dos hidrogramas do período 1986/87 a 1994/95 para comparação com resultados de estudos anteriores (Espinha Marques *et al.*, 2006 e 2013) e dos do período de 1951/80 a que pertencem os valores disponíveis da precipitação.

O modelo conceptual de fluxo do escoamento inclui as seguintes condições de fronteira: a bacia hidrográfica coincide com a bacia hidrogeológica e os limites laterais são de fluxo nulo, a cota piezométrica no rio é sempre inferior à do aquífero não havendo recarga do rio para o aquífero, não existem reservatórios de água superficial a montante da secção de referência. A recarga do sistema aquífero faz-se a partir das precipitações que caem na superfície, onde parte volta à atmosfera e a outra parte atravessa a zona não saturada e vai recarregar os sistemas aquíferos descontínuos subjacentes. Na parte superior destes, i.e. na zona da reserva renovável, a água é drenada pelo sistema aquífero voltando à superfície (constituindo o escoamento de base dos rios que pode ser assim utilizado como um indicador da recarga/recursos hídricos subterrâneos renováveis.

A separação do escoamento de base foi feita pelo programa WHAT (Lim *et al.*, 2005) através do filtro digital recursivo de Eckhardt (2005), com  $BFI_{max} = 0,25$ , Figura 11. Tomou-se a área da bacia igual a 27,51 km<sup>2</sup> (SNIRH).



**Figura 10.** Série descontínua de valores de caudal médio diário na EH de Manteigas de 1/10/1949 a 30/9/2011.

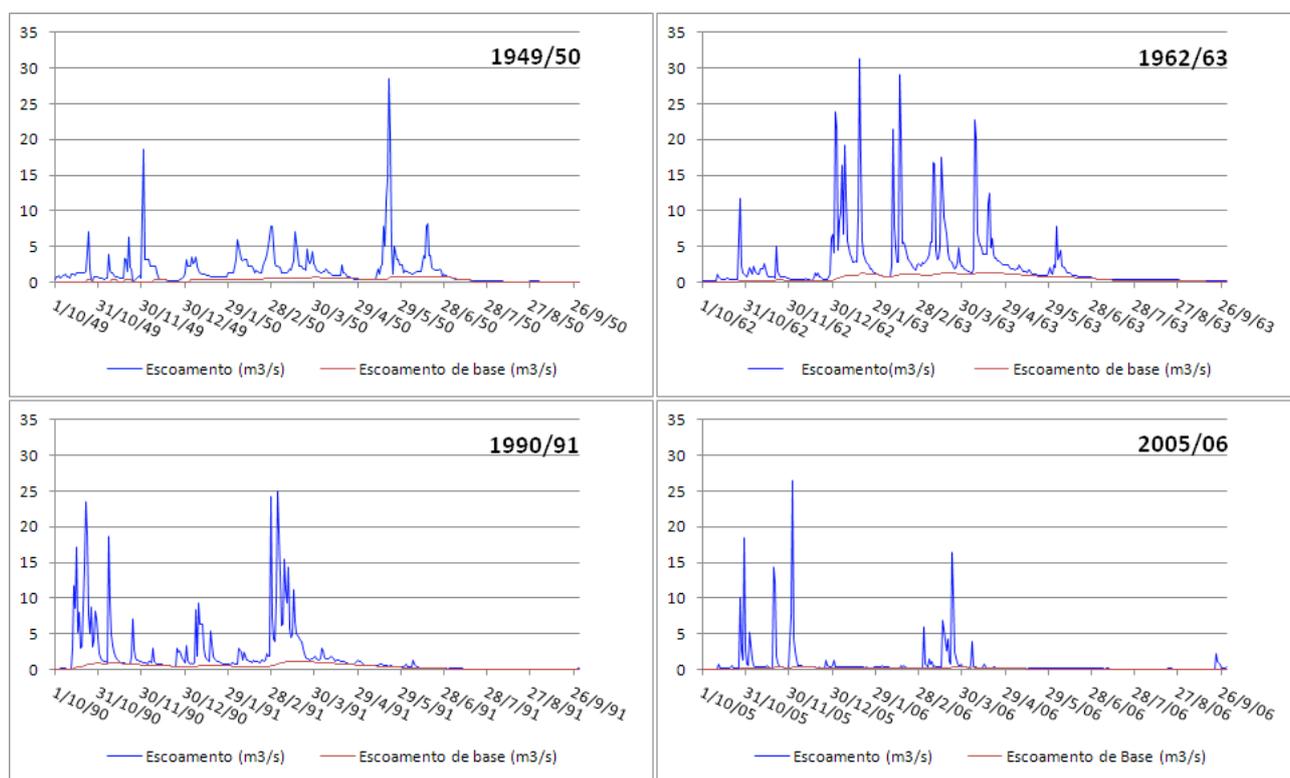


Figura 11. Exemplos de hidrogramas do escoamento e do escoamento de base com  $BFI_{max} = 0,25$ .

Quadro 1. Estatísticas principais dos resultados da decomposição dos hidrogramas anuais na estação hidrométrica de Manteigas com  $BFI_{max} = 0,25$  (série descontinua de 1949/50 a 2010/11).

Estatísticas	Escoamento (hm <sup>3</sup> /ano)	Escoamento (mm/ano)	BFI	Escoamento de base (hm <sup>3</sup> /ano)	Recarga subterrânea (mm/ano)
Nº valores	40	40	40	40	40
Média	52,94	2012	0,224	12,43	452
Mediana	57,41	2087	0,221	11,52	419
Desvio padrão	27,41	865	0,019	5,41	197
Coef. de variação	51,77%	42,99%	8,53%	43,55%	43,54%
Mínimo	2,89	414	0,191	2,89	106
Máximo	122,92	4468	0,277	26,63	968
Amplitude	120,03	4054	0,086	23,74	863
1º Quartil	39,22	1437	0,210	8,54	311
3º Quartil	69,96	2543	0,236	16,25	591

As estatísticas dos valores calculados da análise dos quarenta hidrogramas anuais disponíveis são apresentadas no Quadro 1. Em termos de recursos hídricos disponíveis, o escoamento total médio é de 52,94 hm<sup>3</sup>/ano (equivalente a 2012 mm/ano), o escoamento direto médio é de 40,51 hm<sup>3</sup>/ano (equivalente a 1560 mm/ano) e o escoamento de base médio (subterrâneo) é de 12,43 hm<sup>3</sup>/ano (equivalente a 452 mm/ano).

A precipitação média sobre a bacia estima-se em 2736 mm/ano que corresponde à soma da média do escoamento total na EH de Manteigas (2012 mm/ano) com a evapotranspiração real (724 mm/ano) calculada pelo balanço hídrico sequencial antes apresentado para a estação climatológica de Penhas da Saúde (Figura 7).

A percentagem da recarga relativamente à precipitação será cerca de 15,3 % e 16,5 %, conforme

se utilize a mediana ou a média da recarga. A bibliografia já citada refere valores semelhantes para a região do vale glacial do Zêzere.

O *BFI*, parâmetro característico da bacia hidrográfica, tem média de 0,224, tem um coeficiente de variação baixo (8,53 %), não se correlaciona com o caudal total na EH (o coeficiente de correlação é de 0,0315 e a reta de regressão da Figura 12 tem  $R^2 = 0,001$ ). Os quarenta valores do *BFI* ajustam-se à distribuição normal  $N(0,224; 0,019)$  para o nível de confiança de 95 % (teste de Shapiro-Wilk).

Por sua vez, os valores da recarga subterrânea anual expressos em mm/ano ajustam-se à distribuição normal  $N(451,88; 196,77)$  conforme o teste de Shapiro-Wilk para o nível de confiança de 95%.

A distribuição da recarga ao longo dos meses da série de 40 anos faz-se conforme a Figura 13: os dados apresentam uma ligeira assimetria positiva, todos os meses apresentam pontos *outside* (valores maiores que uma vez e meia a distância interquartis) e só os meses de outubro e de setembro incluem pontos *far outside* (valores maiores que três vezes a distância interquartis) que são usualmente indicativos de verdadeiros *outliers*. O mês de recarga média mais elevada é o de janeiro e o de recarga média mais baixa é o de setembro; no que respeita à mediana, o mês de valor mais elevado é o de março e o de menor valor é de setembro.

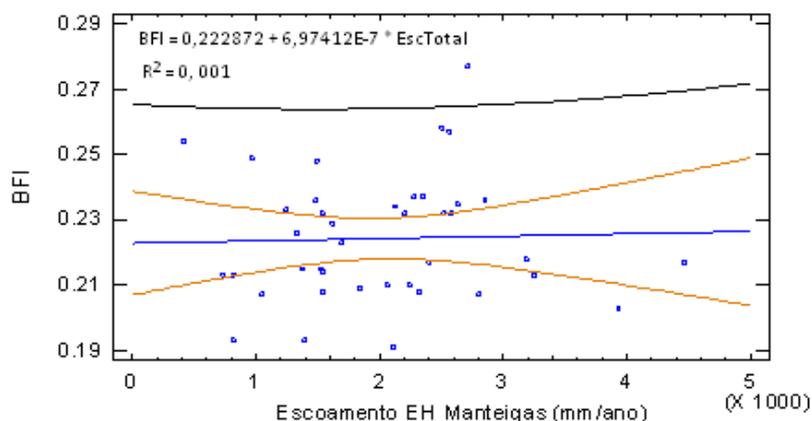
Os coeficientes de correlação de Pearson são altos conforme a matriz dos gráficos das correlações entre os valores da precipitação média mensal em Penhas da Saúde e o escoamento médio mensal na EH de Manteigas nos períodos de 1951 a 1980 (19 anos) e de 1949/50 a 2010/11 (40 anos) (Figura 14), Os coeficientes de correlação são estatisticamente

significativos para o nível de confiança de 95 %.

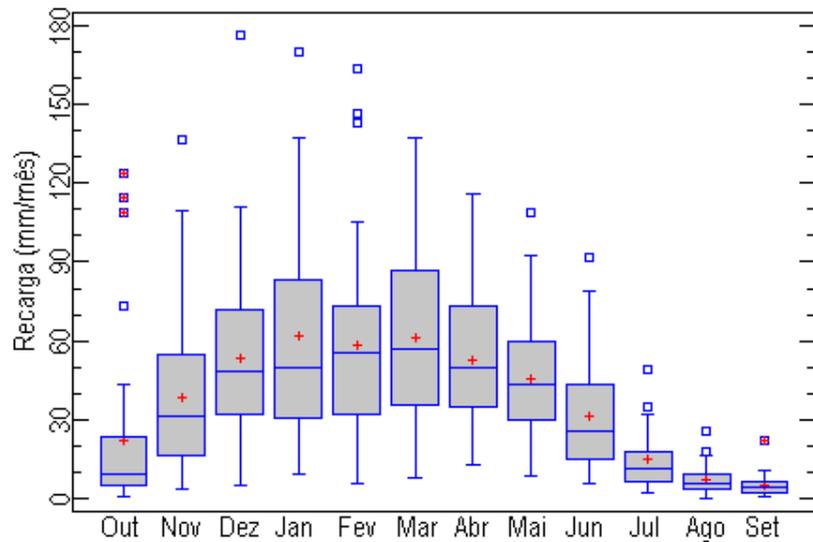
As retas de regressão do escoamento médio mensal na EH sobre a precipitação mensal em Penhas da Saúde (Figura 15) têm coeficientes de determinação elevados ( $R^2 = 0,863$  e  $R^2 = 0,936$ ), declives de 0,863 e 0,751 e termos independentes negativos que são superiores a -18 mm (escoamento médio mensal da série descontínua de 1951/1980 na Figura 15 (a) e da série descontínua de 40 anos na Figura 15 (b), respetivamente). Tanto num caso como no outro, a fração do escoamento mensal (Y) relativamente à precipitação mensal (X) segue o modelo de crescimento do tipo  $Y = a + b/X$ , onde a e b representam o declive e o termo independente da reta de regressão. Nos meses mais chuvosos do período de 1951/1980 o escoamento pode subir até cerca 84,0 % da precipitação e para o período da série descontínua de quarenta anos pode atingir cerca de 71 %.

O valor do escoamento médio anual de 2011,97 mm/ano, correspondente à série de 40 anos de medições do caudal no rio e o medido no período de 1986/87 a 1994/95 (1805,11 mm/ano), não são compatíveis com a precipitação média anual de 2336 mm/ano, conforme proposto por Espinha Marques *et al.* (2006 e 2013) para o período de 1986/87 a 1994/95. Com efeito, as diferenças de 324 mm/ano e 531 mm/ano são insuficientes para justificar a “evapotranspiração real ao nível das raízes e a interceção da precipitação” que é estimada por aqueles autores em 727 mm/ano.

Para o período de 1986/87 a 1994/95, entre os valores calculados evidenciam-se: a média do *BFI* = 0,229, a média do escoamento total 49,66 hm<sup>3</sup>/ano (1805,11 mm/ano), a média da recarga



**Figura 12.** Regressão linear do BFI sobre o escoamento total na EH de Manteigas. A reta de regressão calculada pelo método dos mínimos quadrados tem cor azul; o limite do intervalo de confiança da reta de regressão é indicado pelas duas linhas de tom amarelado; as linhas de cor preta indicam o intervalo de predição para a variável dependente; os limites estão definidos para o nível de confiança de 95 %.



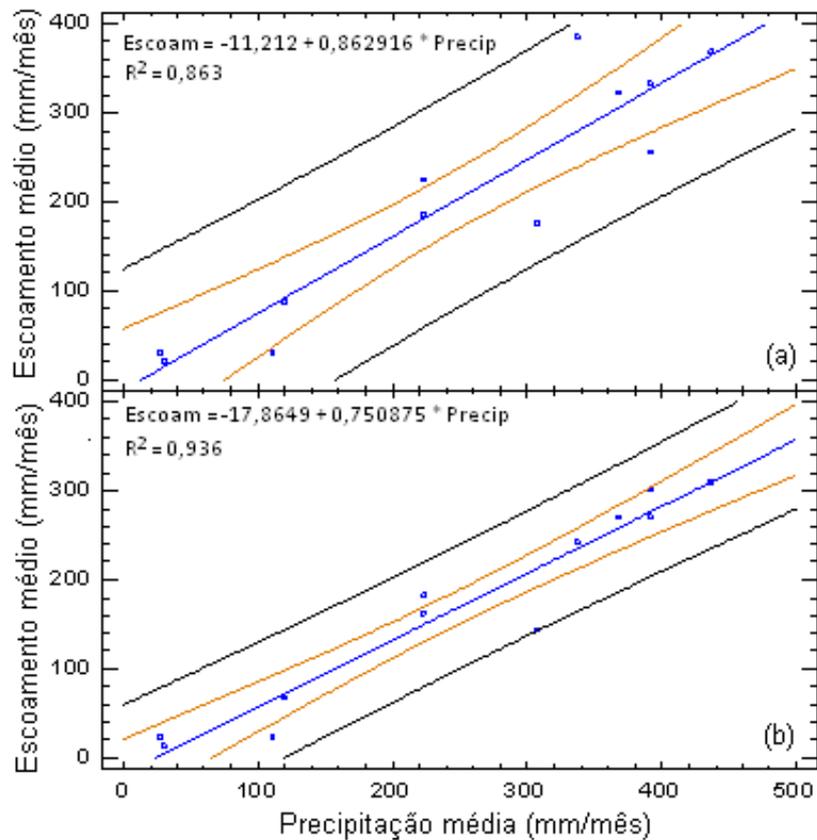
**Figura 13.** Estatísticas dos valores mensais da recarga de água subterrânea. Os limites inferior e superior da caixa com preenchimento a cor cinzenta representam o 1º e o 3º quartis, a linha horizontal que divide esta caixa significa a mediana, a cruz a cor vermelha indica a média, os extremos das linhas verticais que partem dos quartis (os bigodes) estendem-se até ao valor máximo e mínimo das observações de cada amostra, a não ser que os valores sejam suficientemente afastados da caixa para serem classificados de “outside” (quadrados sem preenchimento) e “far outside” (quadrados com cruz de cor vermelha).

<b>Precipitação média mensal (1951 - 1980)</b>		
	<b>Escoamento médio mensal (1951 - 1980, 19 anos)</b>	
		<b>Escoamento médio mensal (1949/50 - 2010/11, 40 anos)</b>

**Figura 14.** Matriz dos gráficos das correlações entre os valores das variáveis “Precipitação média mensal (1951-1980); “Escoamento médio mensal (1951-1980, 19 anos)” e “Escoamento médio mensal (1949/50-2010/2011, 40 anos”. A precipitação diz respeito à estação climatológica das Penhas da Saúde e escoamento refere-se aos valores medidos na EH de Manteigas.

subterrânea = 11,25 hm<sup>3</sup>/ano (408,76 mm/ano), Quadro 2. A percentagem da recarga relativamente à precipitação é de 15 %. Embora os valores da subsérie de 1986/87 a 1994/95 sejam de facto inferiores aos da série de 40 anos não há diferença estatística significativa para o nível de confiança de 95 % (teste-t e teste LSD de Fisher).

No Quadro 2 também se comparam os valores acima descritos com os calculados pelo modelo Visual Balan para o mesmo período de 1986/87 a 1994/95. Da diferença das razões entre os valores em hm<sup>3</sup>/ano e mm/ano conclui-se que as áreas consideradas nos dois estudos são diferentes. A área da bacia hidrográfica efetivamente considerada por Espinha Marques



**Figura 15.** Regressões lineares do escoamento médio mensal sobre a precipitação média mensal em Penhas da Saúde (1951/1980) para o nível de confiança de 95%. (a) Escoamento médio mensal da série descontínua de 1951/1980 (19 anos) e (b) escoamento médio mensal da série descontínua de 40 anos. A reta de regressão calculada pelo método dos mínimos quadrados tem cor azul; o limite do intervalo de confiança da reta de regressão é indicado pelas duas linhas de tom amarelado; as linhas de cor preta indicam o intervalo de predição para a variável dependente; os limites estão definidos para o nível de confiança de 95 %.

*et al.* (2006 e 2013) foi de 31,05 km<sup>2</sup> (Quadro 3), valor que é 12,8% mais elevado que a área de 27,51 km<sup>2</sup> considerada no presente artigo. Espinha Marques *et al.* (2006 e 2013) havia enunciado que a "bacia do Zêzere a montante de Manteigas ... tem uma área de cerca de 28 km<sup>2</sup>" e Samper *et al.* (2007) refere 28,04 km<sup>2</sup>.

Uniformizando a área da bacia para 31,05 km<sup>2</sup>, os valores dos escoamentos e da recarga em mm do Quadro 1 e do período de 1986/1987 a 1994/95 passariam a ser 12,8 % mais baixos. Ter-se-ia o valor da recarga de 351,17 mm/ano para a série de 40 anos, equivalente a 15 % da precipitação de 2336 mm/ano considerada por Espinha Marques *et al.* (2006 e 2013). Para a precipitação de 2736 mm/ano, conforme proposto neste artigo, a recarga seria de 12,8 % da precipitação.

Concluindo, os caudais de recarga subterrânea/caudal de base calculados pelos programas Visual Balan e WHAT são praticamente iguais para a série de 1986/87 a 1994/95, se a área considerada nos

dois estudos for uniformizada. No entanto, em face dos dados reportados, considera-se que a série do período de 1986/1987 a 1994/95 tem duração insuficiente para se poder considerar representativa da bacia.

### Avaliação dos recursos subterrâneos a jusante do vale glaciar

Na avaliação dos recursos hídricos subterrâneos das bacias dos ribeiros de Vale de Amoreira, Sameiro e da encosta a NW da vila de Manteigas utilizou-se o valor do  $BFI = 0,224$  da bacia do vale glaciar. Embora todas as bacias interessem rochas duras com comportamento hidrogeológico semelhante parece haver alguma diferença na continuidade e espessura nos depósitos das vertentes e no coberto vegetal, pelo que eventualmente aquele valor peca por defeito.

Os valores anuais da precipitação foram calculados

**Quadro 2.** Razão entre valores calculados pelo método de separação de componentes do hidrograma (presente artigo) e valores calculados pelo programa Visual Balan (Espinha Marques *et al.*, 2006), período de 1986/87 a 1994/95.

Componente do balanço hídrico	Espinha Marques et al., 2006 (1)		Este artigo (2)		Razão: (2)/(1)	
	Média anual (mm)	Média anual (hm <sup>3</sup> )	Média anual (mm)	Média anual (hm <sup>3</sup> )	(mm)	(hm <sup>3</sup> /ano)
Caudal subterrâneo	361,34	11,22	408,76	11,25	1,13	1,00
Caudal total rio Zêzere	1612,95**	50,08**	1805,11*	49,66*	1,12	0,99

\*valor medido, \*\*valor calculado pelo programa Visual Balan

**Quadro 3.** Alguns dos valores calculados pelo programa Visual Balan v2 (Espinha Marques *et al.*, 2006) e cálculo da área da bacia (período de 1986/87 a 1994/95).

Componente do balanço hídrico	Espinha Marques et al. (2006)				Cálculo da área da bacia hidrológica (km <sup>2</sup> )	
	Média anual (mm)	Média anual (hm <sup>3</sup> )	Total no período (mm)	Total no período (hm <sup>3</sup> )	Média anual	Total no período
Precipitação	2335,55	72,51	21020,19	652,62	31,05	31,05
Escoamento subsuperficial	947,11	29,41	8523,53	264,63	31,05	31,05
Caudal subterrâneo	361,34	11,22	3251,86	100,96	31,05	31,05
Caudal total rio Zêzere	1612,95	50,08	14516,68	450,71	31,05	31,05
Recarga dos aquíferos	361,65	11,23	3254,85	101,05	31,05	31,05

a partir da regressão linear sobre a altitude definida na Figura 4.

A evapotranspiração real foi determinada para cada bacia por balanço hídrico sequencial mensal, tomando a reserva de água utilizável pelas plantas de 100 mm e a evapotranspiração potencial mensal calculada, como foi atrás descrito, através da evapotranspiração de referência média diária de Penman-Monteith da estação climatológica de Penhas Douradas.

A altitude desta estação climatológica, embora mais elevada, é a que mais se aproxima da altitude média das bacias daqueles afluentes do rio Zêzere (Quadro 4).

A precipitação mensal para cada bacia foi calculada através de regressões lineares dos valores mensais da precipitação sobre a altitude do conjunto das treze estações udométricas localizadas na área da Serra da Estrela. O coeficiente de determinação médio das doze equações de regressão mensais é de  $R^2 = 0,592$ , com valor mínimo de  $R^2 = 0,453$  e máximo de  $R^2 = 0,715$ .

No Quadro 4 é apresentada uma primeira aproximação das características e da avaliação dos recursos hídricos renováveis de cada uma das bacias hidrográficas dos afluentes da margem esquerda do rio Zêzere, onde se localizam emergências de água que abastecem o concelho de Manteigas. A sequência dos dados do Quadro 4 ilustra também a metodologia de cálculo utilizada.

A avaliação do mérito da extrapolação também se faz através da comparação do caudal inventariado nas captações de Vale de Amoreira, de Sameiro e das localizadas a NW de Manteigas e o caudal calculado para a hipotética bacia drenante (definida por critério geomorfológico/topográfico) de cada uma das captações que, em regra, é um fração limitada da bacia hidrográfica onde se localiza. A metodologia de cálculo adotada é igual à utilizada para as bacias hidrográficas (Quadro 4)

No que respeita às captações de Vale de Amoreira, o caudal médio calculado através do BFI e modelos de regressão (0,5 L/s) é muito inferior ao caudal observado no mês de Abril de 2016 (3 L/s). Tendo

em conta a geomorfologia, conclui-se que a bacia definida por critério geomorfológico/topográfico não coincide com a bacia de chamada das captações. Esta, na interpretação adotada, ultrapassa a linha de cumeada da encosta onde se encontram as captações e inclui a parte mais elevada da vertente oposta do festo.

Na bacia hidrográfica do ribeiro de Sameiro, consideraram-se duas sub-bacias das captações: a que é drenada pela galeria do Vale (caudal não avaliado em Abril de 2016) e a que inclui as outras duas nascentes inventariadas (2,2 L/s). No primeiro caso, o valor afluente calculado foi de 1,5 L/s e no segundo caso calculou-se o caudal de 3,6 L/s. Tanto num caso como no outro, os valores calculados estão na gama de valores expectáveis para o caudal médio das nascentes.

Na encosta NW de Manteigas consideraram-se quatro sub-bacias de drenagem onde se localizam as sete nascentes e minas aí inventariadas. O valor calculado foi quase sempre inferior ao valor medido ou estimado. No caso de duas nascentes com os caudais de 0,75 L/s e 1 L/s localizadas em sub-bacias separadas, os valores calculados são 0,65 L/s e 0,59 L/s, respetivamente. A diferença é maior no caso duma captação muito produtiva (valor médio calculado de 1,2 L/s e caudal estimado de 5 L/s). Às restantes quatro minas atribuiu-se a mesma sub-bacia: o caudal total observado estimou-se em 3 L/s, e o caudal calculado foi de 1,1 L/s.

## CONCLUSÕES

Este estudo permitiu reconhecer e caracterizar uma parte muito significativa do sistema de captações do abastecimento público de água ao concelho de Manteigas. O sistema de abastecimento é constituído por três subsistemas autónomos: o de Vale de Amoreira, o de Sameiro e o de Manteigas. Em todos os subsistemas, o transporte da água é integralmente gravítico. As captações dos vários subsistemas estão localizadas na parte superior da bacia do rio Zêzere a montante da vila de Manteigas (vale glacial do Zêzere) e bacias de afluentes daquele rio localizadas a jusante do vale glacial.

A captação de água faz-se em nascentes e galerias de mina que drenam as rochas duras graníticas e metassedimentares ante-ordovícicas. O regime do caudal segue o ciclo das precipitações, com caudais habituais neste tipo de litologias (valores entre 0,5 e 2 L/s) e valores anormais (*outliers*) geralmente associados a localizações onde há condições geoestruturais e geomorfológicas particularmente favoráveis ao armazenamento, ao movimento e à emergência de água (casos da Nascente de Paulo Luís Martins na vertente oriental do vale glacial e da Nascente do Conde na encosta a NW da vila de Manteigas).

Os recursos hídricos renováveis foram avaliados na bacia a montante da EH de Manteigas (vale glacial) através da análise de hidrogramas desta EH pelo filtro digital de Eckhardt incluído no

**Quadro 4.** Características e recursos hídricos das bacias hidrográficas de afluentes da margem esquerda do rio Zêzere onde se localizam captações do abastecimento público fora do vale glacial.

Parâmetros	Bacias hidrográficas dos ribeiros		
	de Vale de Amoreira	de Sameiro	de Fronhas e da Vila
Área (km <sup>2</sup> )	5,11	9,33	6,19
Perímetro (km)	9,84	12,72	11,13
Altitude média (m)	849	945	1205
Precipitação (mm/ano)	1477	1583	1860
Precipitação (hm <sup>3</sup> /ano)	7,55	14,77	11,52
ETR (mm/ano)	650	659	685
Escoamento total (mm/ano)	827	924	1175
Escoamento total (hm <sup>3</sup> /ano)	4,22	8,62	7,28
BFI	0,224	0,224	0,224
Escoamento base (mm/ano)	185	207	263
Escoamento base (hm <sup>3</sup> /ano)	0,95	1,93	1,63
Escoamento de base (L/s)	30	61	52
Porcentagem da precipitação (%)	13	13	14

programa de computador WHAT. O filtro inclui a variável  $BFI_{max}$  que permite considerar as condições hidrogeológicas locais.

No período de 1986/87 a 1994/95, os valores calculados pelo programa WHAT são idênticos aos determinados anteriormente pelo programa de balanço sequencial Visual Balan.

Da análise de quarenta hidrogramas anuais da EH de Manteigas (série descontínua de 1949/50 a 2010/11) salienta-se o valor médio do  $BFI$  de 0,224, o valor da média do escoamento total de 52,94 hm<sup>3</sup>/ano (2011,97 mm/ano), o valor médio da recarga subterrânea 12,43 hm<sup>3</sup>/ano (451,88 mm/ano) e a média do escoamento direto de 40,51 hm<sup>3</sup>/ano.

Com a extrapolação dos valores calculados na bacia do vale glaciário para as bacias dos ribeiros de Vale de Amoreira, do Sameiro e da encosta a NW da vila de Manteigas (ribeiros de Fronhas e da Vila) calcularam-se os valores do escoamento subterrâneo de 30 L/s, 51 L/s e 52 L/s, respetivamente.

Concluiu-se também que no ambiente hidrogeológico das rochas duras, a localização e as condições morfoestruturais influenciam a configuração e a extensão da área de chamada e o caudal das emergências. A metodologia de análise utilizada à escala das bacias é coerente. À escala das emergências, não explica os caudais elevados em algumas nascentes, quando as influências estruturais se sobrepõem às influências hidrológicas superficiais proporcionadas pela envolvente geomorfológica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EPAL as facilidades concedidas no acesso às captações e à informação existente.

Apraz-nos agradecer as sugestões feitas pelos membros do Conselho Redatorial que avaliaram o artigo para publicação.

## BIBLIOGRAFIA

Afonso, M.,J., Espinha Marques, J., Marques, J.M., Carreira; P.M., Fonseca, P.E., Gomes, A., Carvalho, J.M., Samper, J., Borges, F.S., Rocha, F.T. & Chaminé, H.I. (2006). *Caracterização multidisciplinar dos recursos hídricos subterrâneos em áreas urbanas e montanhosas (Norte e Centro de Portugal: metodologias e técnicas*. Actas do II fórum ibérico de águas engarrafadas e termalismo, Porto.

Arnold, J.G., Allen, P.M., Muttiah, R. & Bernhardt, G. (1995). Automated baseflow separation and recession analysis techniques. *Groundwater* 33 (6), 1010-1018.

Brodie, R.S. & Hostetler S A. (2005). *A review of techniques for analyzing baseflow from stream hydrographs*. In Proceedings International Water Conference, NZHS-IAH, Auckland, Nov28-Dec3.

Cabral, J. (1995). *Neotectónica em Portugal continental*. Mem. do Inst. Geol. Min. Portugal, 31, pp265.

Caldas, A.J.C. (2012). *Efeito do aumento da área urbanizada nos caudais e nas alturas de escoamento em cheia numa pequena bacia hidrográfica: aplicação à bacia hidrográfica de Manteigas no rio Zêzere*. Universidade da Beira Interior, Faculdade de Engenharia, tese de mestrado não publicada, pp 124.

Carreira, P.M., Marques, J.M., Espinha Marques, J., Chaminé, H.I., Fonseca, P.E., Monteiro Santos, F., Moura, R.M., & Carvalho, J.M. (2011). Defining the dynamics of groundwater in Serra da Estrela mountain area, central Portugal: an isotopic and hydrogeochemical approach. *Hydrogeology Journal*, 19, 117-131.

Chapman, T.G. (1987). Unit hydrograph identification using only streamflow data. *Transactions of the Institution of Engineering*, Australia CE29 (3), 187-191.

Daveau, S., Ferreira, A.B., Ferreira, N. (1997). Novas observações acerca da glaciação da Serra da Estrela. *Estudos Quaternários*, 1, APEQ, Lisboa, 41-47.

Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19 (2), 507-515.

Espinha Marques J., Samper J., Pisani B.V., Alvares, D., Vieira, G.T., Mora, C., Carvalho, J.M., Chaminé H.I., Marques J.M. & Borges F.S. (2006). Avaliação de recursos hídricos através de modelação hidrológica: aplicação do programa Visual Balan v2.0 a uma bacia hidrográfica na Serra da Estrela (Centro de Portugal). *Cadernos Lab.. Xeolóxico de Laxe Coruña*, vol.31, 43-65.

Espinha Marques J., Samper J., Pisani B., Alvares, D., Carvalho, J.M., Chaminé H.I., Marques J.M. & Borges F.S. (2009). *Assessment of water resources in a mountain environment applying a semidistributed hydrological model: Serra da Estrela case, Central Portugal*. In: O. Silva e J. Carrera (eds.), IX Jornadas de Estudios en la Zona no Saturada, ZNS'09, vol IX, 514-521.

Espinha Marques J., Samper J., Pisani B., Alvares, D., Carvalho, J.M., Chaminé H.I., Marques J.M., Vieira, G.T., Mora, C. & Borges F.S. (2011). Evaluation of water resources in a high-mountain basin in Serra da Estrela, central Portugal, using a semi-distributed

- hydrogeological model. *Environ Earth Sci*, 62, 1219-1234.
- Espinha Marques, J., Marques, J.M., Chaminé, H.I., Carreira, P.M., Fonseca, P.E., Monteiro Santos, F., Moura, R., Samper, J., Pisani, B., Teixeira, J., Carvalho, J.M., Rocha, F.T., & Borges, F.S. (2013). Conceptualizing a mountain hydrogeologic system by using an integrated groundwater assessment (Serra da Estrela, central Portugal): a review. *Geosciences Journal* Vol 17, N 3, 371-386.
- Gustard, A., Bullock, A. & Dixon, J.M. (1992). *Low flow estimation in the United Kingdom*. Institute of Hydrology, report nº 108; Natural Environmental Research Council, pp 88.
- Institute of Hydrology (1980). *Low Flow Studies report*, Wallingford, UK.
- Lencastre A. E Franco, F.M. (1984). *Lições de hidrologia*. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, pp 451.
- Lim, K.J., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K.S., Muthukrishnann, S. & Tripathy, D., (2005). Automated WEB GIS based hydrograph analysis tool, WHAT. *Journal of the American Water Resources Association*, December 2005, 1407-1416.
- Nathan R.J. & McMahon T.A. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research*, 26 (7), 1465-1473,
- Oliveira, M.J.P.M. (2004). *Recarga de águas subterrâneas: métodos de avaliação*. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, tese de doutoramento não publicada, pp 440.
- PMDFI, Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios: Manteigas 2013-2017*, (CMDFCI-Manteigas).
- Samper, J., Huguet, L.L., Arés, J. & García Vera, M.A. (1999) *Manual del usuario del programa VISUAL BALAN v.1.0: código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga*. Technical Publication ENRESA, Madrid, 5/99, pp 205.
- Samper, J., García Vera, M.A, Pisani B., Alvares, D., Espinha Marques J., Varela, A. & Losada J.A. (2005). *Hydrologic models and geographic information systems for water resources evaluation: Application of GIS-BALAN to Atlantic basins in Spain and Portugal*. The fourth inter-Celtic colloquium on hidrology and management of water resources, Guimarães, Portugal, July, 11-14.
- Samper, J., García Vera, M.A, Pisani B., Alvares, D., Espinha Marques J., Varela, A. & Losada J.A. (2007). *Using hydrological models and Geographic Information Systems for water resources evaluation: GIS-VISUAL-BALAN and its application to Atlantic basins in Spain (Valiñas) and Portugal (Serra da Estrela)* in Water in Celtic countries: quantity, quality and climate variability, proceedings of the fourth inter-Celtic colloquium on hydrology and management of water resources, Guimarães, Portugal, July 2005. IAHS Publ. 310, 2007.
- Samper, J., Pisani, B., & Espinha Marques, J. (2015). Hydrological models of interflow in three Iberian mountain basins, *Environmental Earth Sciences*, Vol 73, N 6, 2645-2656.
- Sloto, R.A. & Crouse, M.Y. (1996). *HYSEP: a computer program for stream flow hydrograph separation and analysis*. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigation Report, Reston, Virginia, 96-4040, 46 pp.
- Vieira, G.B.G.T. (2004). *Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela: ambientes frios do pliocénico superior e dinâmica actual*. Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras, Departamento de Geografia, tese de doutoramento não publicada, pp 724.



# Prognóstico ambiental da qualidade de água de uma lagoa costeira sufocada e urbana após ligação com o mar via dutos afogados

## *Environmental envisage of water quality in a shoked urban coastal lagoon after connection with the sea via drowned pipes*

Lidiane dos Santos Lima<sup>1</sup>, Paulo Cesar Colonna Rosman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - CT - sala C209 COPPE-PEEnO – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica, CEP: 21941-972 - Rio de Janeiro – RJ, Brasil.; [lslima@oceanica.ufrj.br](mailto:lslima@oceanica.ufrj.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - CT - sala C209 COPPE-PEEnO – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica, CEP: 21941-972 - Rio de Janeiro – RJ, Brasil.; [pccrosman@ufrj.br](mailto:pccrosman@ufrj.br)

**RESUMO:** As lagoas costeiras nas áreas urbanas podem apresentar desafios na qualidade de suas águas devido a interações antropogênicas e ambientais. O caso da Lagoa Rodrigo de Freitas, LRF, localizada na zona sul da cidade do Rio de Janeiro, enquadra-se nesta categoria. A LRF está conectada ao mar por um canal de 850 metros de comprimento chamado Canal Jardim de Alah, cuja largura varia de 9.5 a 18 m e área hidráulica mínima de 4.5m<sup>2</sup> em relação ao nível médio do mar (NMM). A boca do canal encontra o mar na zona de surf com arco de praia de 3.8 km: à esquerda a praia do Leblon é de 1.2 km e à direita as praias de Ipanema e Arpoador. Estas são praias populares na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. O canal Jardim de Alah é instável em termos hidro-sedimentológicos e a extensão de sua embocadura muitas vezes é obstruída pela areia, sendo necessárias operações de dragagem frequentes para mantê-la aberta. Devido sua fraca capacidade hidrodinâmica, o canal funciona principalmente como a saída mais importante do sistema de macrodrenagem da bacia LRF. O intercâmbio de água e a renovação entre a LRF e o mar ocorre apenas por algumas horas após uma operação de dragagem. Após a dragagem, na maior parte do tempo, a embocadura do canal é obstruída pela areia no final da primeira maré enchente. Este artigo analisa as melhorias na troca e renovação da água entre a lagoa e o mar, resultantes de um eficiente canal modificado conectado ao mar através de 4 tubos submersos, em arranjo semelhante a um sifão. Nesta conexão aperfeiçoada, a seção hidráulica mínima do canal em relação ao NMM é de 21 m<sup>2</sup>. À medida que as seções de fluxo de entrada de tubos no mar estão a cerca de 200 metros do litoral, em região com profundidade de 10 m, a conexão da LRF com o mar torna-se de 1150 m de comprimento.

A LRF tem uma coluna d'água média em torno de 3 m. Durante décadas, a lagoa permaneceu praticamente estagnada e muitas vezes estratificada com a camada inferior de 1 m apresentando valores de salinidade uniformes superiores a 20 ups e às vezes perto de 30 ups. Já a camada 1 m superior apresenta frequentemente valores de salinidade quase uniformes que são aproximadamente metade da camada inferior. Uma consequência direta desse padrão estratificado estagnado é que a camada inferior é anóxica na maioria das vezes. Com a conexão aprimorada com o mar, a lagoa apresentará um padrão dinâmico de estratificação variando com as marés, aumentando os valores de salinidade em direção ao canal e diminuindo em direção à afluência dos rios Macacos e Cabeças na margem norte da lagoa. Os gradientes de salinidade horizontal e vertical tornaram-se tipicamente estuarinos, o que favorece a diversidade biológica. Com a entrada de água do mar rica em oxigênio duas vezes ao dia, a decomposição atualmente anóxica da biomassa morta no fundo mudará, criando uma demanda bioquímica de oxigênio durante o período inicial da

Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 38, Nº 2, 81-98, dezembro de 2017.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh38n2-cti4

mudança dos padrões de circulação. O presente estudo apontou que a proposta de uma conexão permanente entre a Lagoa Rodrigo de Freitas e o mar cumpre o objetivo de mitigar os problemas ambientais relacionados às condições anóxicas na camada inferior da lagoa, sanando definitivamente os seguintes problemas ambientais: má qualidade de água devido ao estoque excessivo de nutrientes na LRF que se acumulam devido ao fato de que o sistema atual não exporta os nutrientes acumulados; o processo de dragagem contínuo do canal Jardim de Alah, que implica em altos custos de manutenção para manter sua capacidade de saída e garantia de macrodrenagem da bacia LRF; a perda de características estuarinas devido à estagnação e uniformidade das águas da lagoa, resultando em redução da biodiversidade e baixa qualidade ambiental. A LRF permanentemente interligada ao mar voltaria a apresentar padrões de gradiente com salinidades típicas dos sistemas estuarinos, o que levaria a um aumento significativo da diversidade biológica. As simulações computacionais da circulação hidrodinâmica e da qualidade da água mostraram resultados efetivos, sugerindo uma solução definitiva para os problemas crônicos e seculares da lagoa.

Palavras-chave: Modelagem computacional, Lagoas costeiras, Lagoa Rodrigo de Freitas, Qualidade das águas, Dutos afogados

**ABSTRACT:** Coastal lagoons in urban areas may present challenges in the quality of their waters due to anthropogenic and environmental interactions. The case of Rodrigo de Freitas Lagoon, LRF, located in the south zone of the city of Rio de Janeiro, fits in this category. The LRF is connected to the sea by the 850 m long Jardim de Alah canal, whose width varies from 9.5 to 18 m, and minimum hydraulic area of 4. 5m<sup>2</sup> relative to mean sea level (MSL). The mouth of the canal meets the sea in the surf zone of a 3.8 km beach arch: to the left is Leblon beach with its 1.2 km, and to the right the beaches of Ipanema and Arpoador. These are popular beaches in the city of Rio de Janeiro, Brazil. The Jardim de Alah canal is unstable in hydro-sedimentological terms, its mouth stretch if often clogged by sand, and frequent dredging operations are necessary to keep it open. Due to its poor hydrodynamic capacity, the canal operates mostly as the main outflow of the macro-drainage system of the LRF basin. Water exchange and renewal between the LRF and the sea occurs only for a few hours following a dredging operation. After being dredged, most often the mouth stretch of the canal is shoaled and clogged by sand at the end of the first flood tide. This article analyses the improvements in water exchange and renewal between the lagoon and the sea, resulting from an efficient modified canal connected to the sea via 4 submerged pipes, in a siphon like arrangement. In this improved connection, the minimum hydraulic section of the canal relative to MSL is 21 m<sup>2</sup>. As the pipes inflow-outflow sections at the sea are about 200 m seaward of the coastline, in a region with a depth of 10m, the connection of the LRF to the sea becomes 1150 m long.

The LRF has a mean water column around 3 m. For decades, the lagoon remains quasi stagnant and often stratified with the bottom 1m layer presenting uniform salinity values above 20 ups, and sometimes near 30 ups. The top 1m layer often presents quasi uniform salinity values that are about half of the bottom layer. A direct consequence of this stagnant stratified pattern is that the bottom layer is anoxic most of the time. With the enhanced connection to the sea, the lagoon will present a dynamic stratification pattern varying with tides, with salinity values increasing towards the Jardim de Alah canal and decreasing toward the affluence of the Macacos and Cabeças rivers in the northern shore of the lagoon. The horizontal and vertical salinity gradients became typically estuarine, which favors biological diversity. With the inflow of oxygen rich sea water twice a day, the now anoxic decomposition of the dead biomass in the bottom will change, creating a biochemical oxygen demand during the initial period of change of circulation patterns. The present study pointed out that the proposal of a permanent connection between the Rodrigo de Freitas Lagoon and the sea fulfills the objective of mitigating the environmental problems related to anoxic conditions in the bottom layer of the lagoon, definitively healing the following environmental problems: poor quality of water due to the excessive stock of nutrients in the LRF that accumulate due to the fact that the current system does not export the nutrients it has accumulated; the continuous shoaling process of the Jardim de Alah canal, which entails high maintenance costs to maintain its outflowing capacity and guarantee of the macro drainage of the LRF basin; The loss of estuarine characteristics due to the stagnation and uniformity of the lagoon waters, resulting in reduced biodiversity and poor environmental quality. The LRF permanently interconnected to the sea would return to show patterns of salinity gradient typical of estuarine systems, which would lead to a significant increase in biological diversity. The computational simulations of hydrodynamic circulation and water quality showed effective results, suggesting a definitive solution to the chronic and secular problems of the lagoon.

Keywords: Computational modeling, Coastal lagoons, Rodrigo de Freitas Lagoon, Water quality, Drowned pipelines

## 1. INTRODUÇÃO

A Lagoa Rodrigo de Freitas é uma lagoa costeira, essencialmente urbana, com cerca de 2,2 km<sup>2</sup> de espelho d'água, profundidade média da ordem dos 3 m e está localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ. A sua bacia hidrográfica tem cerca de 23,5 Km<sup>2</sup>, drena a face sul do Maciço da Tijuca, sendo formada, essencialmente, pelas bacias dos rios Cabeças, Macacos e Rainha (Soares *et al.*, 2012). O corpo hídrico em questão é polo de atração para atividades de lazer ao ar livre e sede prática de desportos aquáticos, em particular o remo. Nas margens da lagoa logram as sedes dos principais clubes, além de suas águas comportarem uma raia de remo de grande importância esportiva. Na lagoa, também há prática da pesca comercial de grande importância económica e social e uma colónia de pescadores.

Conforme relatado por Soares *et al.* (2012), mesmo sendo observado um progresso na área sanitária devido à redução de lançamento de esgoto e reformas nas elevatórias operadas pela CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro), os resultados em seu estudo mostram que a Lagoa Rodrigo de Freitas ainda apresenta um grande desequilíbrio ambiental. Dessa forma, o corpo hídrico em questão ainda pode ser classificado como eutrófico ou hipertrófico, devido ao acúmulo dos nutrientes no decorrer dos anos. Sendo assim, ainda são necessárias medidas que previnam e minimizem os efeitos deletérios na lagoa.

A interrupção do aporte de esgoto na LRF por si só não é suficiente para resolver o problema da qualidade ambiental da região, pois o estoque de nutrientes no sistema lagunar é grande fazendo com que o mesmo permaneça em situação ambiental impactada. Os rios que fazem parte do sistema de drenagem na bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas apresentam baixas vazões e poucas vezes em condições oligotróficas. Sendo assim, a única opção de fonte de águas nessas condições tróficas e em quantidade significativa é o mar (Rosman, 2012).

A ligação com o mar é realizada pelo canal Jardim de Alah, este é um canal artificial construído em 1921. Os dados históricos que o canal Jardim de Alah, em situação natural, apresenta instabilidades geomorfológicas em sua embocadura. Isso ocorre devido a constante obstrução ocasionada pela acumulação de areia das praias adjacentes (Oliveira & Fortunato, 2000). O canal possui uma comporta que é manejada pela subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas – RIOÁGUAS. De

acordo com RIOÁGUAS (2010) esse manejo ocorre constantemente, contudo através do Boletim de Operação das Comportas e Ações de Proteção do Sistema Lagunar, é possível verificar que não há um padrão de abertura e fechamento das comportas. Em grande parte do tempo, as comportas encontraram-se fechadas o que inviabiliza uma troca permanente da água da lagoa com o mar.

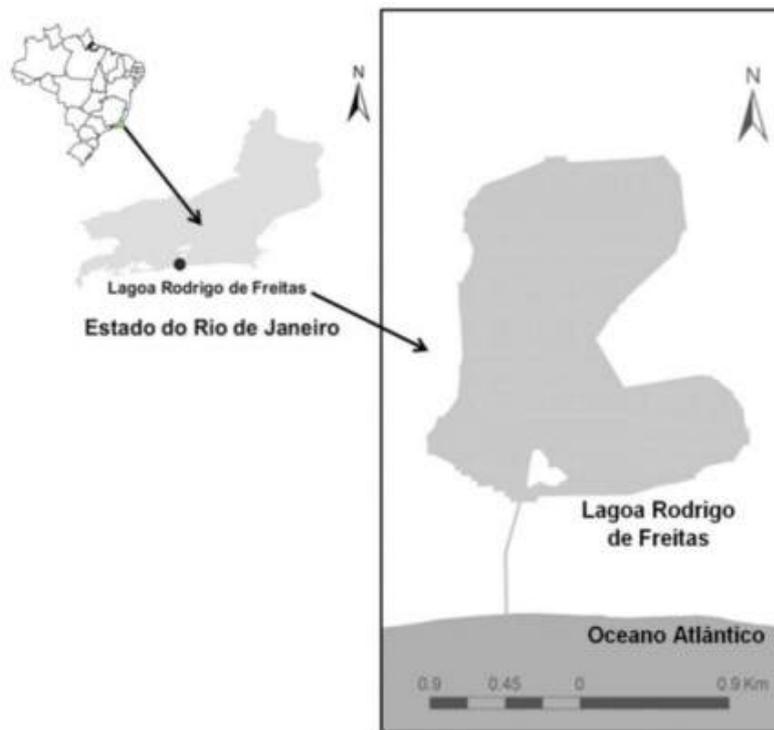
Devido à obstrução constante do Canal Jardim de Alah, as renovações das águas ficam comprometidas, por isso, o presente estudo tem como objetivo desenvolver prognósticos de hidrodinâmica ambiental assim como de qualidade de água para suporte e planejamento de ligação da Lagoa Rodrigo de Freitas ao mar via dutos afogados. As análises ambientais foram embasadas em resultados de simulações de modelos computacionais aferidos e validados que deram suporte para prognosticar as situações projetadas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

Situada na zona sul da cidade do Rio de Janeiro (Figura 1), a Lagoa Rodrigo de Freitas é regulamentada como uma Área de Proteção Permanente pela Lei Orgânica do Município do Rio de Janeiro conforme artigo 463. O seu balanço hídrico com o ambiente marinho é realizado através do Canal do Jardim de Alah, com 835 m de extensão. A foz do Canal do Jardim de Alah é sistematicamente obstruída por areias transportadas pelas ações das ondas e correntes a elas associadas, como também pela ação dos ventos, razão pela qual necessita ser permanentemente dragada (Alves *et al.*, 1998). O fluxo do Canal Jardim de Alah é determinado em função da maré, com o controle por comporta. Atualmente, essa comporta é aberta somente em períodos de chuvas fortes a fim de extravasar as águas de dentro da lagoa para controlar o seu nível d'água, o que inviabiliza a definição de um padrão para modelagem nessa região. A troca de massas de água entre a lagoa e o mar é restrita, assim como o escoamento de maré dentro da lagoa (Maciel, 2007). Os rios que desaguam na Lagoa Rodrigo de Freitas são: o Rio dos Macacos, com área de drenagem de 7,2 km<sup>2</sup>, o Rio Rainha, com 4,3 km<sup>2</sup> e o Rio Cabeças, que tem a menor área de drenagem, com 1,9 km<sup>2</sup> (FEEMA, 2002).

A Lagoa Rodrigo de Freitas caracteriza-se por apresentar velocidades muito reduzidas em quase todo o seu domínio, exceto na área vizinha da sua ligação ao Canal Jardim de Alah. As áreas norte e leste apresentam-se isoladas do resto do corpo



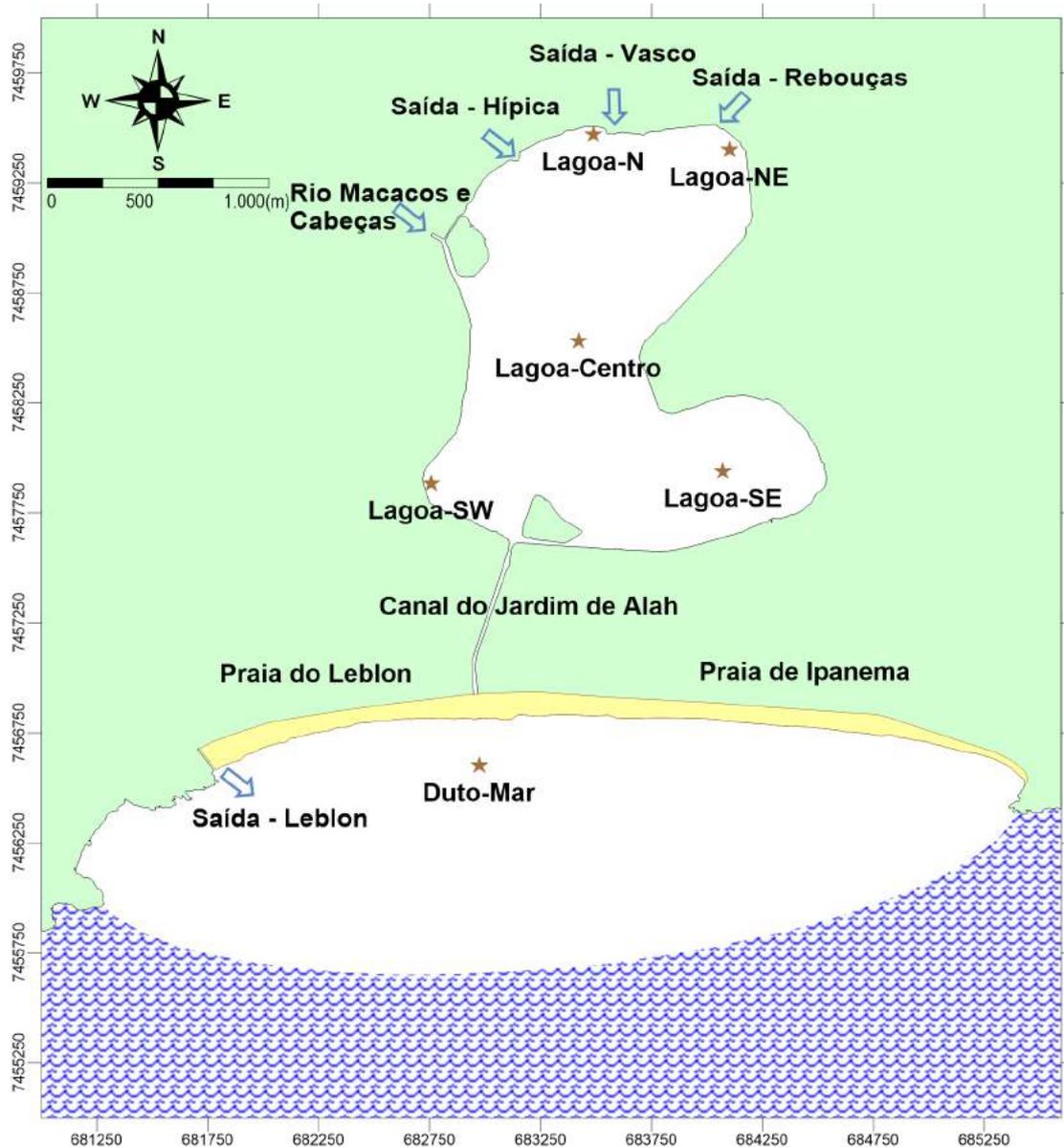
**Figura 1.** Ilustração da localização da área de estudo, adaptado de Marotta *et al.* (2012).

lagunar, não conseguindo o escoamento induzido pelos fluxos afluentes do Piraquê e pelas marés, promovendo a mistura destas águas com o resto da lagoa. Este cenário justifica os tempos de residência muito elevados que, como consequência, provocam a degradação da qualidade da água. A intensa ocupação urbana de sua bacia hidrográfica, associada à evolução das ações antrópicas com total inobservância de normas elementares de urbanismo, explica o quadro problemático da qualidade de suas águas, que apresentam contínuos problemas das mortandades de peixes e as frequentes inundações na região (LNEC, 2003). A hidrodinâmica da Lagoa Rodrigo de Freitas e do Canal do Jardim de Alah é forçada principalmente por: descargas fluviais, ação direta do vento e maré meteorológica. Atualmente, a maré astronômica tem sua influência restrita ao Canal do Jardim de Alah, não afetando o padrão de circulação no interior da lagoa (AMBIENTAL, 2002). As marés astronômicas na zona costeira são do tipo semi-diurnas com desigualdades diurnas. Têm uma propagação típica de onda de Kelvin no hemisfério Sul, de Oeste para Leste. As amplitudes máximas de marés de sizígia são da ordem de 1.20 m e as mínimas de maré de quadratura de 0.40 m. Os níveis do mar são influenciados por fatores meteorológicos, com períodos característicos de cinco a sete dias.

As amplitudes das marés meteorológicas são da mesma ordem de grandeza das marés astronômicas (Rosman, 1992).

As velocidades residuais em frente às praias de Ipanema e Leblon são dirigidas para Leste. As águas provenientes da Lagoa tendem em direção à Baía de Guanabara, sendo assim, não se espera que detritos derivados desta baía entrem regularmente na Lagoa. A Lagoa Rodrigo de Freitas é atualmente um sistema de águas quase paradas, com velocidades da ordem de 0.01 m/s. Análise harmônica da série temporal de nível medida no centro da LRF identificou uma única componente de maré com amplitude inferior à precisão do equipamento utilizado nas medições de nível. Dessa forma, é possível afirmar que não há influência de maré astronômica no interior da LRF e, portanto, as variações de nível associadas aos períodos semi-diurno e diurnos são desprezíveis. Os níveis na Lagoa são fundamentalmente controlados pelas afluências de descargas fluviais, sendo o nível médio cerca de 0.5 m acima do nível médio do mar (AMBIENTAL, 2002).

Em consequência às baixas velocidades, ocorrem duas zonas prioritárias de retenção no interior da lagoa, a Norte e a Leste. Tanto as vazões provenientes dos rios Cabeças e Macacos, quanto as marés astronômicas e meteorológicas apresentam incapacidade de promover a mistura destas águas



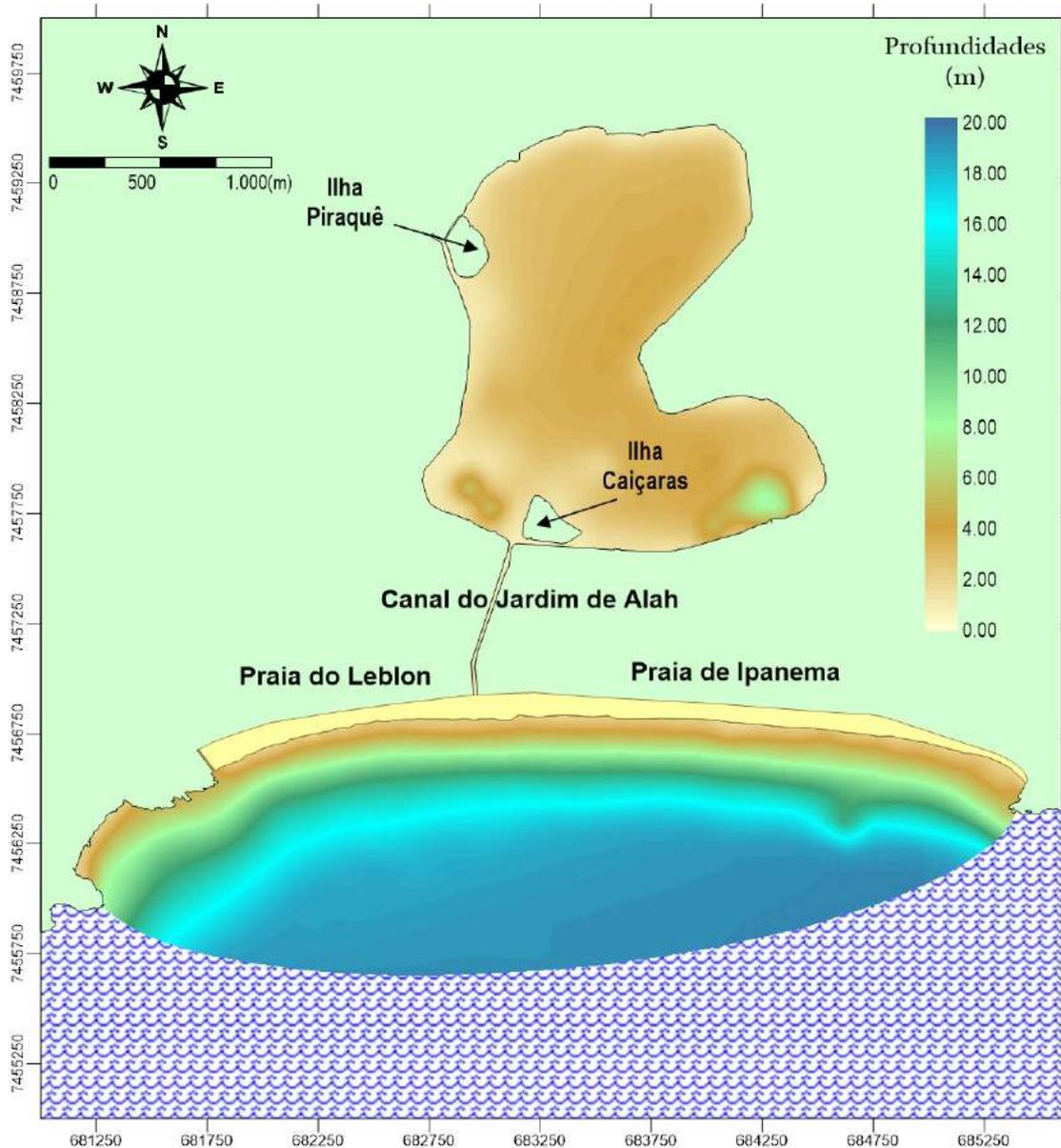
**Figura 2.** Na ilustração são apresentadas as localizações das estações de controle da modelagem pela simbologia a seguir . Já a simbologia , representa as entradas e saídas de fluxos consideradas no modelo.

com o resto da lagoa. Admite-se que apenas os ventos e pequenas afluições marginais à lagoa consigam misturar a água retida nas duas zonas de retenção.

Os problemas ambientais observados nos grandes centros urbanos muitas vezes não surgem apenas em decorrência das altas densidades populacionais. A ocupação irregular com a construção de grandes prédios, como por exemplo ocorre ao longo do entorno da Lagoa Rodrigo de Freitas, certamente constitui uma forma não recomendável de ocupação (Silva, 2010). O problema apontado como o mais relevante está associado às mortandades de peixes e outras faunas aquáticas que são noticiadas com frequência desde 1930 (Torres, 1990).

## 2.2. Modelagem Ambiental

A necessidade da aplicação de modelos para estudos, projetos e auxílio à gestão de recursos hídricos é inquestionável, face à complexidade do ambiente em corpos de água naturais, especialmente em lagos, reservatórios, estuários e zona costeira adjacente das bacias hidrográficas (Rosman, 2010). Os modelos validados são ferramentas que permitem integrar informações espacialmente dispersas, interpolar informações para regiões nas quais não há medições, ajudar na interpretação de medições feitas em estações pontuais, propiciar entendimento da dinâmica de processos, prever situações simulando cenários futuros, dentre outras funcionalidades (Pinto, 2007). Os modelos computacionais utilizados fazem parte



**Figura 3.** Ilustração da área de abrangência da região de modelagem contemplando as profundidades em metros em relação ao nível médio do mar.

do **Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental - SisBaHiA**. O referido sistema profissional de modelos computacionais é registrado pela Fundação Coppetec e pode ser visto em detalhes no *site* <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>. A calibração dos modelos de hidrodinâmica ambiental obedeceu à seguinte ordem: **Nível 1.** Calibração geométrica; **Nível 2.** Calibração hidrodinâmica; e **Nível 3.** Calibração da qualidade de água.

Foram estabelecidas cinco estações de controle na área interna da lagoa, a saber: Lagoa-SW, próximo ao estádio de remo/Shopping Lagoon; Lagoa-SE, nos arredores do Parque do Cantagalo; Lagoa-Centro, próximo à sede náutica do clube de regatas Botafogo; Lagoa-NE, nas mediações do túnel Rebouças; e Lagoa-N, na direção de sede náutica

do clube de Regatas Vasco da Gama. Para os fluxos de entrada e saída tidos na modelagem foram considerados 5 (cinco) fluxos: Saída do Leblon, com descarte na praia adjacente à lagoa no Leblon; Fluxo dos rios Macacos e Cabeças que desaguam na LRF próximo à Ilha Piraquê; e saídas da Hípica, Vasco e Rebouças localizadas nos pontos indicados na sua própria nomenclatura (Figura 2). Uma observação relevante é que a estação Duto-Mar será abordada somente para os parâmetros de qualidade de água. Para o nível médio do mar no período de simulação foi adotada -0.20m. O nível médio diário da lagoa e do mar durante os 31 dias simulados variam na faixa de -0.20 a 0.20 m.

### 2.2.1 Dados disponíveis

Os dados secundários foram disponibilizados por ocasião dos estudos da Lagoa Rodrigo de Freitas por Rosman em 2009 e pelo LNEC entre 1999 e 2001, além dos dados primários disponibilizados no EIA-RIMA (Estudo e Relatório de Impacto Ambiental) de 2002 (AMBIENTAL, 2002, LNEC, 2000, LNEC, 2003, Rosman, 2009). Entre os dados utilizados, destacam-se os dados de: batimetria, maré, vento, vaza (lodo do fundo), vazões fluviais médias e características dos dutos afogados. Conforme detalhado a seguir:

#### Batimetria

As informações relativas à batimetria, incluindo os contornos de margens, utilizadas neste estudo foram obtidas através de dados secundários disponíveis por ocasião dos estudos da Lagoa Rodrigo de Freitas pelo LNEC entre 1999 e 2001 (LNEC, 2000, LNEC, 2003), além dos dados disponíveis no EIA-RIMA de

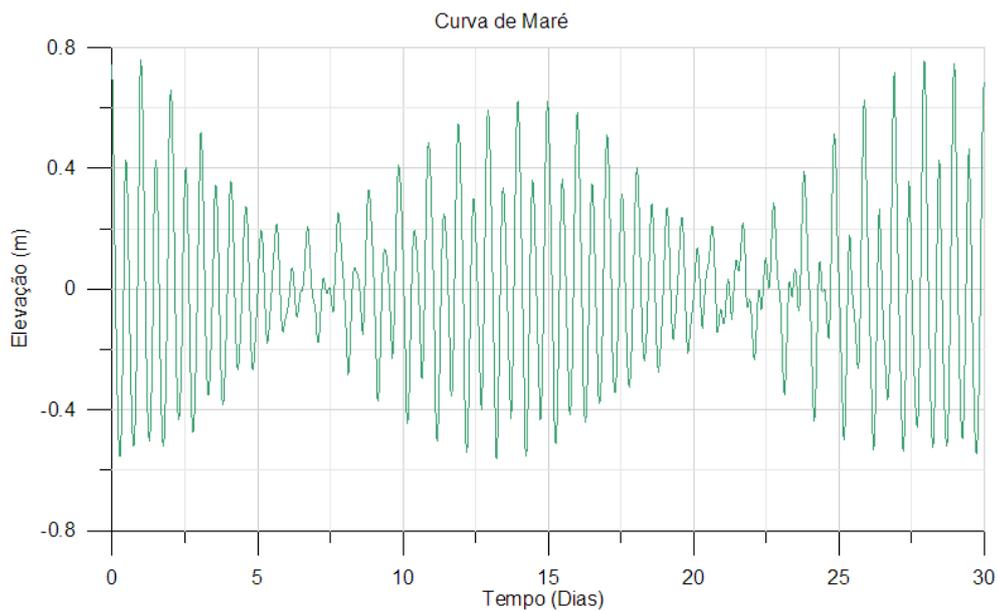
2002 (AMBIENTAL, 2002). A batimetria atual, como vista pelo modelo, está apresentada na Figura 3 que indica a abrangência da região de modelagem a ser considerada.

#### Dados de maré

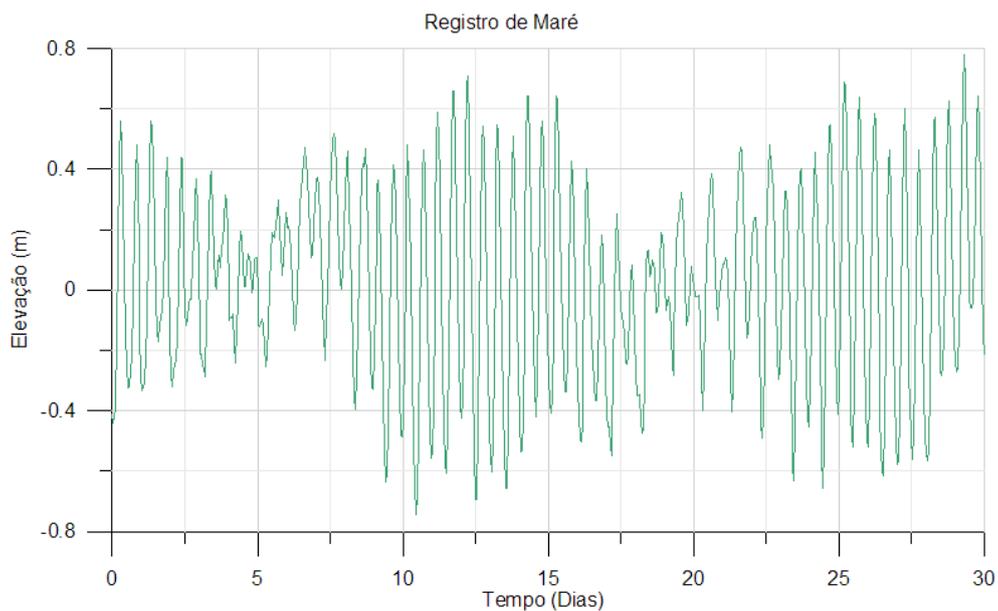
As curvas de maré geradas a partir de constantes harmônicas da maré sintética da região estudada estão apresentadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 4, conforme informações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. As principais constituintes astronômicas são a M2, S2, O1 e K1, tendo todas elas amplitudes superiores a 5 cm. O quociente entre as amplitudes das principais constituintes diurnas e semi-diurnas é de 0.36, o que indica uma maré semi-diurna com desigualdades diurnas. Para as simulações do modelo da Lagoa Rodrigo de Freitas e regiões adjacentes são considerados o registro de maré da Figura 5.

**Tabela 1.** Principais constantes harmônicas referentes à região estudada, listadas pela significância da amplitude.

CONSTANTE	AMPLITUDE (M)	FASE (GRAU)
M2	0.288	99.672
S2	0.160	105.671
O1	0.105	89.496
K1	0.058	146.500
K2	0.049	98.675
M4	0.045	149.502
N2	0.035	141.675
Q1	0.028	59.496
P1	0.022	132.497
MS4	0.022	249.500
MN4	0.020	100.503
mu2	0.015	125.673
2N2	0.012	146.672
M1	0.009	129.500
nu2	0.005	127.672
T2	0.005	140.673
MNS2	0.004	98.675
L2	0.004	181.674
SN4	0.004	218.503
M3	0.004	225.625
MO3	0.003	74.628
OO1	0.003	323.498
MK3	0.002	142.626



**Figura 4.** Curva de maré típica da região estudada, ao longo de 30 dias, considerando apenas as principais constantes harmônicas.



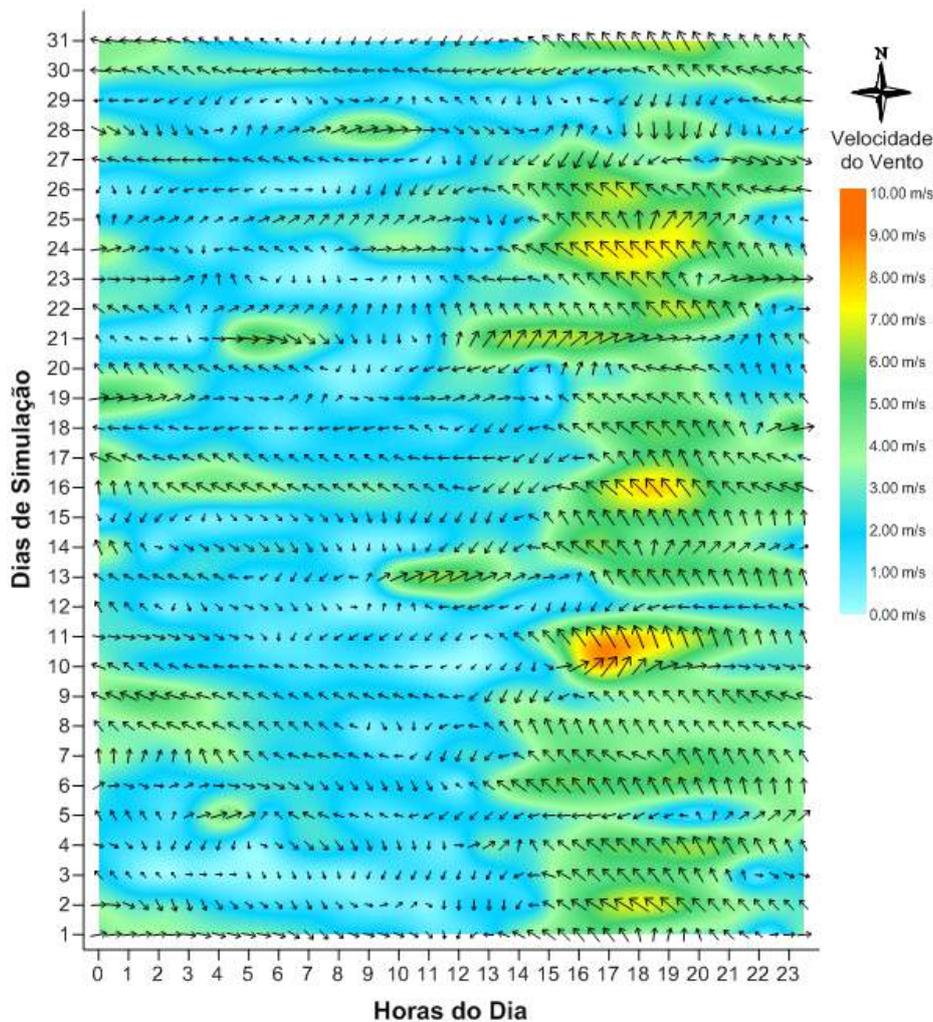
**Figura 5.** Registro de maré da região estudada, ao longo de 30 dias, ilustrando as condições usadas na modelagem da Lagoa Rodrigo de Freitas e regiões adjacentes.

### Dados de vento

Para a modelagem da circulação hidrodinâmica a entrada dos dados de vento pode ter diversos formatos, indo desde constantes no tempo e uniformes no espaço, até totalmente variáveis no tempo e variados no espaço. Para o modelo em questão os dados de vento para modelagem da circulação hidrodinâmica foram variáveis no tempo, mas uniformes no espaço, seguindo os padrões de frente fria com intensidades variáveis de 60 em 60 minutos que estão apresentados na Figura 6.

### Vaza (lodo)

O fundo da LRF é recoberto por uma camada espessa e irregular de sedimento, principalmente, de granulometria de areia média, de 30% a 80% e areia fina com 7% a 30% (Brito & Lemos, 1982). A Figura 7 ilustra a estimativa da espessura do lodo não consolidado que foi considerado nas simulações de DBO como fonte sem vazão líquida. Naquela ocasião, o volume total calculado de lodo não consolidado era de  $\approx 660.000 \text{ m}^3$  (Rosman, 2010).



**Figura 6.** Gráfico da série temporal de ventos de frente fria em metros por segundo (m/s) fornecida ao modelo como dados de entrada. As setas têm módulo proporcional à velocidade do vento, que é indicada pelo padrão de cores. A direção e sentido do vento são indicados pelas setas, em relação à rosa de pontos cardeais (Rosman, 2012).

### Vazão dos rios e saídas

Os dados referentes às vazões dos rios considerados na modelagem foram dados secundários disponíveis nos estudos de hidrodinâmica ambiental da LRF por Rosman (2012). Foram considerados dois rios na região modelada além de quatro saídas. As vazões médias adotadas estão apresentadas na Tabela 2:

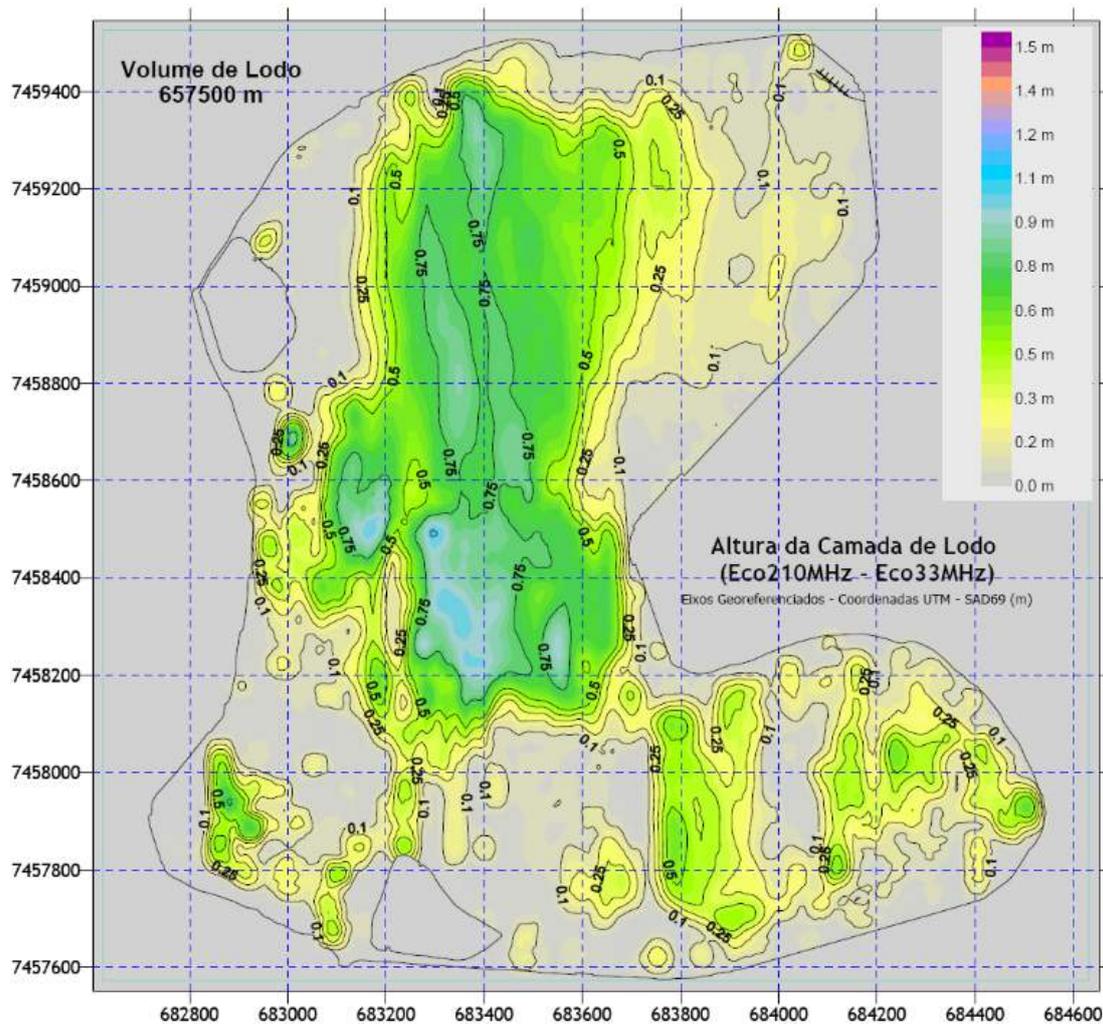
### Características dos dutos afogados

Em linhas gerais, na direção da lagoa para o mar, o Canal do Jardim de Alah seguiria no alinhamento atual aproximadamente até ao local onde se encontra a atual comporta. Daquele ponto em diante, ao invés de seguir via canal dividindo as praias de Ipanema e Leblon, o fluxo seria captado por dutos afogados. Tais dutos seriam enterrados sob a areia e aflorariam em desemboque submerso para além da linha batimétrica de 10 m. A praia de

Ipanema-Leblon deixaria ser dividida e passaria a ser uma faixa contínua de areia. A Figura 8 mostra a concepção proposta. As características dos referidos dutos estão expostas na Tabela 3:

## 3. RESULTADOS

Foram realizadas simulações para ventos típicos de frente fria e usuais, contudo as variações dos resultados entre essas simulações foram ínfimas. Dessa forma, os gráficos aqui apresentados consideram os ventos de frente fria. Com a finalidade de detectar as variações mais significativas dos parâmetros analisados (circulação hidrodinâmica, taxa de renovação, salinidade, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio), os resultados expostos estão relacionados a uma maré de sizígia.



**Figura 7.** Estimativa da espessura da vaza (lodo não consolidado) existente em 2000, resultando da diferença entre os ecos de baixa e alta frequência (Rosman, 2009).

**Tabela 2.** Vazões médias dos rios e saídas adotadas para a modelagem (Rosman, 2012).

RIOS E SAÍDAS	$Q_m$ (L/s)
Rios Macacos e Cabeças	300.0
Saída – Vasco	1.0
Saída – Hípica	1.0
Saída – Rebouças	20.0
Saída – Leblon	45.0

**Tabela 3.** Características adotadas para a modelagem com dutos afogados.

NOME	DUTOS AFOGADOS LRF-MAR
Comprimento (m)	360.00
Área Hidráulica (m <sup>2</sup> ) – 4 dutos	21.24
Raio Hidráulico (m)	0.65
Amplitude da Rugosidade. Equivalente (m)	0.01
Perda Carga A	0.10
Perda Carga B	0.80
Outras Perdas	1.04
Comporta Basculante	Ausente

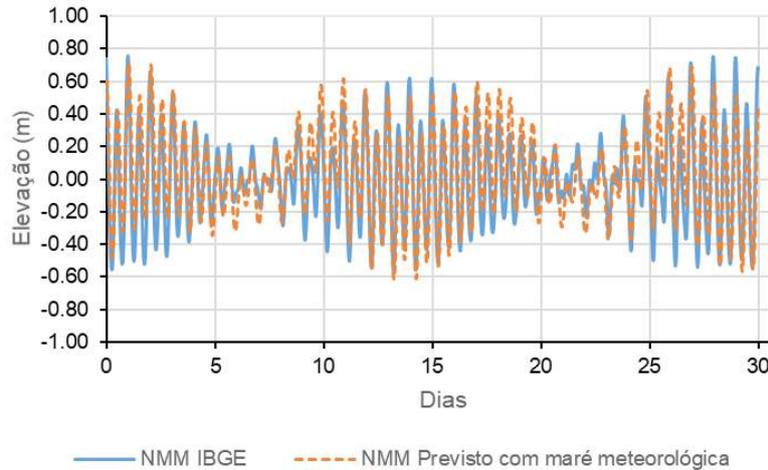
### 3.1. Calibração e validação

A calibração e validação do sistema foram realizadas através da calibração do modelo hidrodinâmico sendo baseada nos dados de maré e calibração de níveis da água. Os dados utilizados foram registrados por um marégrafo localizado na Ilha Fiscal, Rio de Janeiro, RJ com latitude 22 53.8S e longitude 043 09.9W. Os dados foram utilizados ao longo da fronteira aberta incluindo os efeitos

meteorológicos, sendo o nível médio corrigido para o Datum de Imbituba do IBGE, com cota -0.19 m, o qual foi tomado como base no presente estudo. A Figura 9 ilustra a elevação da maré modelada adicionada da meteorológica, assim como, a elevação registrada pelo marégrafo. De acordo com a figura é possível observar que a maré simulada



**Figura 8.** Esquema da ligação da lagoa ao mar via dutos afogados (Rosman, 2009).



**Figura 9.** Elevação simulada e registrada referenciada no Datum de Imbituba do IBGE pelo marégrafo localizado na Ilha Fiscal no Rio de Janeiro, RJ.

adicionada da maré meteorológica está muito semelhante tanto em fase, quanto em amplitude da maré registrada. Dessa forma, o modelo mostrou que é capaz de realizar prognósticos satisfatórios da maré na região de estudo.

### 3.2. Hidrodinâmica ambiental e renovação das águas

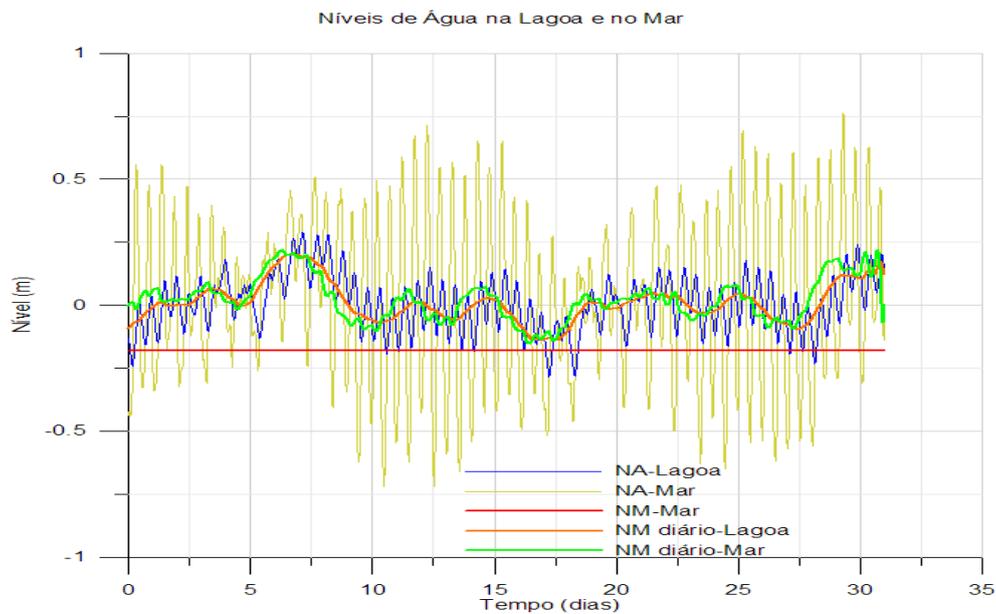
Os níveis médios diários do mar apresentam uma variação ligeiramente maior em relação à estação localizada na lagoa. Outra variação percebida é uma pequena defasagem temporal entre as estações na lagoa e no mar. Essa última é mais sensível às oscilações da maré tanto temporal quanto espacialmente. O nível da água no mar apresenta sua oscilação entre -0.75 e 0.75 m. Já na estação localizada na lagoa, o nível da água é amortecido em aproximadamente 66%, apresentando uma variação na faixa de -0.25 a 0.25 m (Figura 10).

As vazões médias calculadas no período de um mês seriam da ordem de 10 m<sup>3</sup>/s em marés de sizígia e em marés de quadratura da ordem de 8 m<sup>3</sup>/s. As variações no Canal Jardim de Alah oscilam entre -17.25 a 17.25 m<sup>3</sup>/s. As variações de vazão

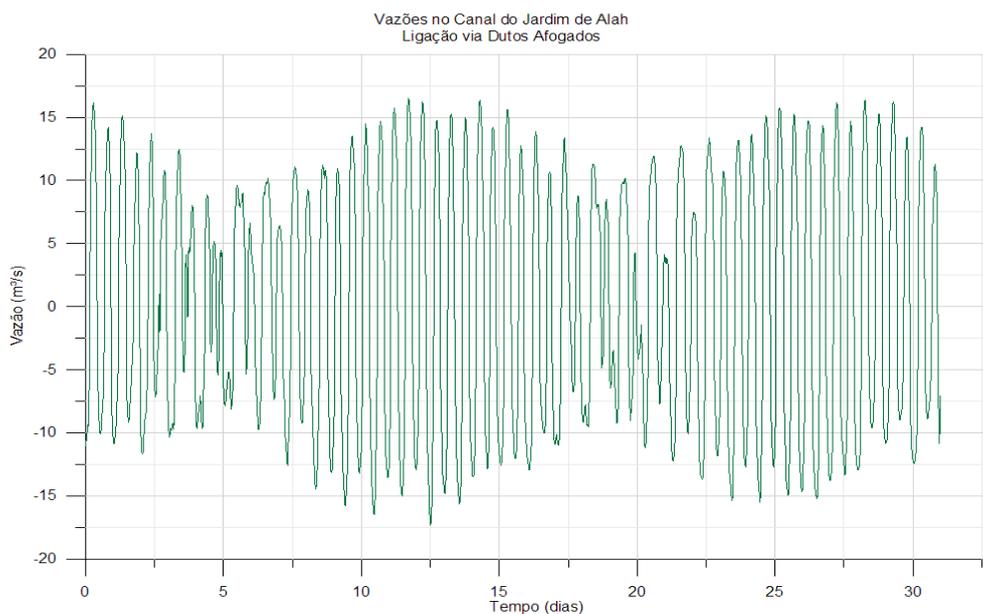
acompanham as variações dos ciclos das marés (sizígia e quadratura) (Figura 11).

De modo geral, a lagoa continuará a apresentar valores de velocidade baixos da ordem de 0.1 m/s em condições de maré de sizígia tanto no período de enchente quanto no de vazante. Ressalta-se que próximo ao Canal Jardim de Alah (desembocadura do duto) é o local que apresenta as maiores velocidades na ordem de 0.4 m/s. Na maré de enchente, é percebido a formação de um vórtice de baixa intensidade à esquerda do canal, já na vazante essa feição se dissipa (Figura 12).

A estação que apresenta a maior taxa de renovação é a Lagoa-SW, seguida pela Lagoa-Centro; a Lagoa N e NE mostram taxas de renovação similares e intermediárias, e a renovação mais lenta é dada na estação Lagoa-SE, onde também se encontra a menor circulação hidrodinâmica do corpo hídrico. Tomando como base a estação de renovação mais lenta (Lagoa-SE), o  $T_{20\%}$  ou seja, o tempo que a lagoa levará para renovar 20% das suas águas será no 5º dia de simulação, o  $T_{50\%}$  ocorrerá aproximadamente no 11º dia e o seu  $T_{90\%}$  um pouco antes do 30º dia (Figura 13).



**Figura 10.** Prognóstico da variação dos níveis de água e dos níveis médios em metros nas estações localizadas na Lagoa Rodrigo de Freitas e no mar adjacente no decorrer de um mês de simulação.



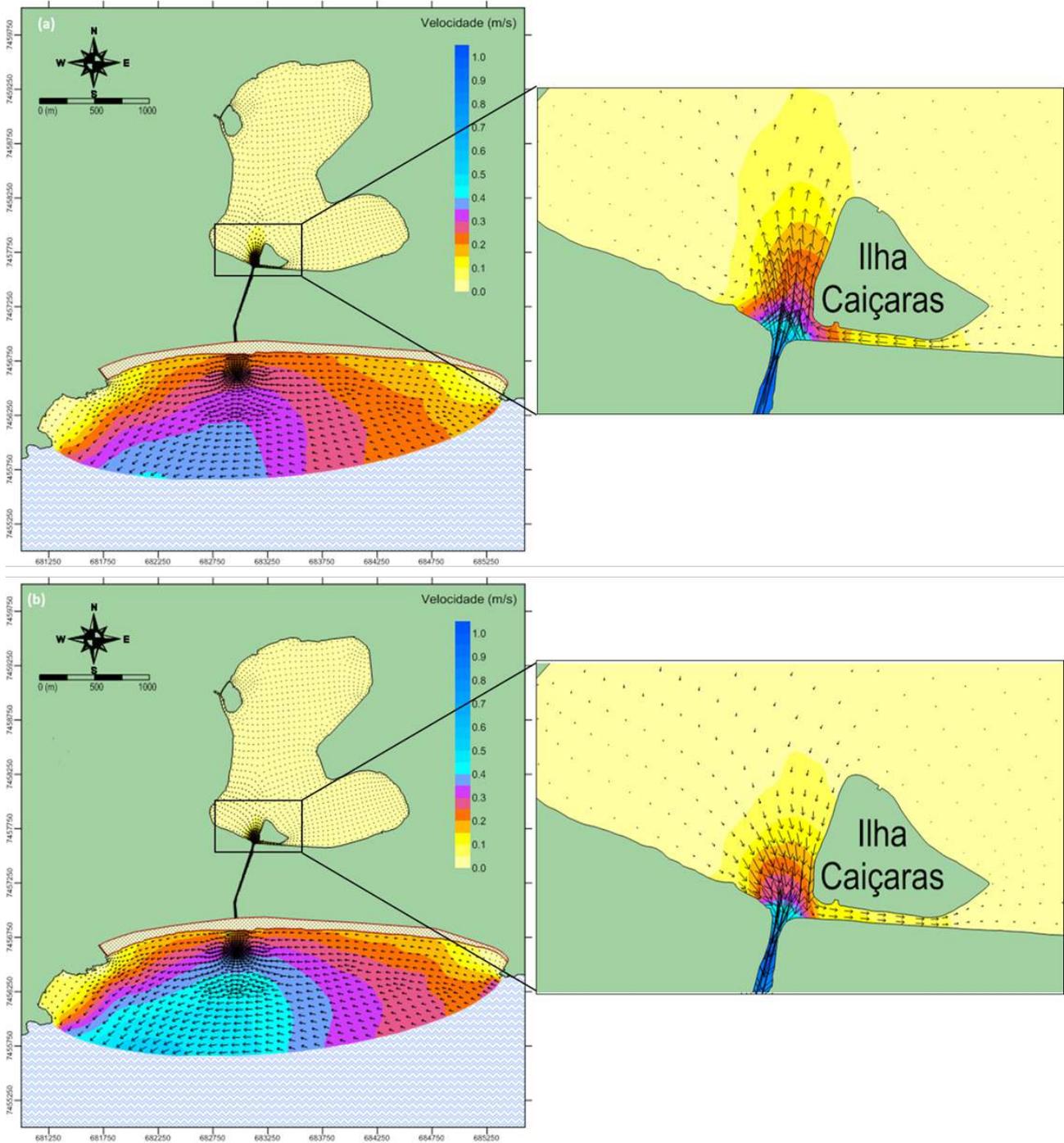
**Figura 11.** Prognóstico da variação das vazões em metros cúbicos por segundo no decorrer de 31 dias no Canal Jardim de Alah onde ocorre a ligação Lagoa-Mar via dutos afogados.

### 3.3. Qualidade de água

No momento inicial da simulação, a condição inicial de salinidade no interior da lagoa era de 14 e no lado externo em torno de 34. Na estação localizada no mar (Duto-Mar), é observada a maior variação de amplitude na salinidade, os valores estão dispostos na faixa de 20 a 35. A estação Lagoa-SW apresenta valores entre 17 e 27 com oscilações frequentes no decorrer da simulação. Já a estação Lagoa-SE apresenta uma pequena oscilação em seus valores

com sua média entorno de 24. A estação Lagoa-Centro apresenta valores entre 12 e 17, contudo, mesmo apresentando uma amplitude menor do que as estações Duto-Mar e Lagoa-SW, as oscilações também foram observadas. Já as estações Lagoa-N e NE apresentam os valores mais baixos de salinidade aproximadamente de 3 e sem oscilações significativas (Figura 14).

Na estação Duto-Mar estão presentes os valores mais altos de Oxigênio Dissolvido (OD). As estações



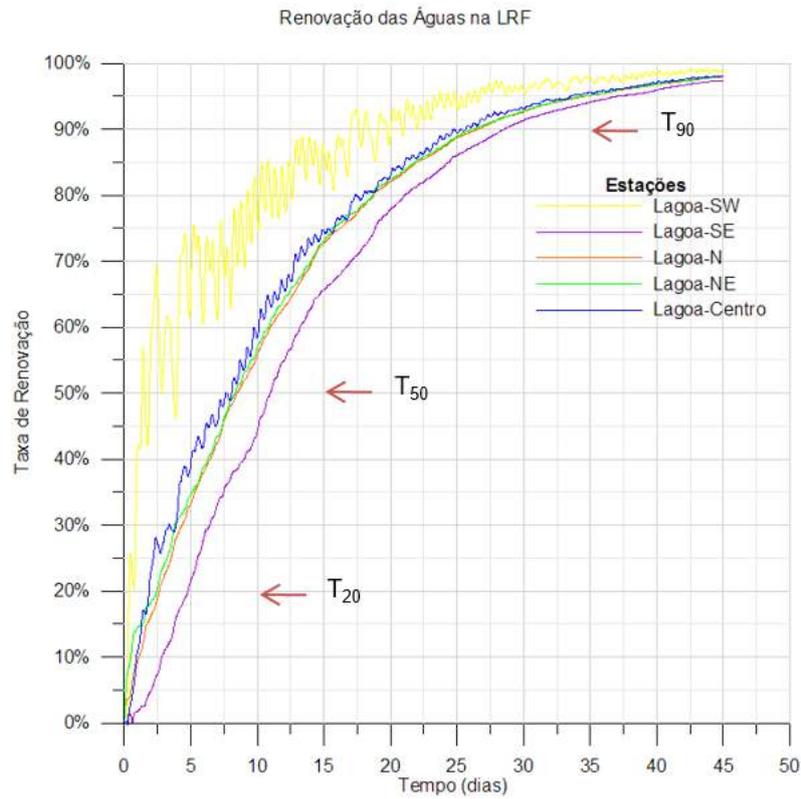
**Figura 12.** Exemplificação da distribuição espacial da circulação hidrodinâmica média na coluna d'água com sua intensidade da velocidade das correntes em metros por segundo em período de maré de sizígia na enchente (a) e vazante (b).

Lagoas-SW e SE apresentam valores a cima de 5 mg/L. No centro da lagoa apresentam valores entre 3 e 5 mg/L. Já no fundo da lagoa, onde estão localizadas as saídas da hípica, Vasco e Rebouças, registram os menores valores de OD (Figura 15).

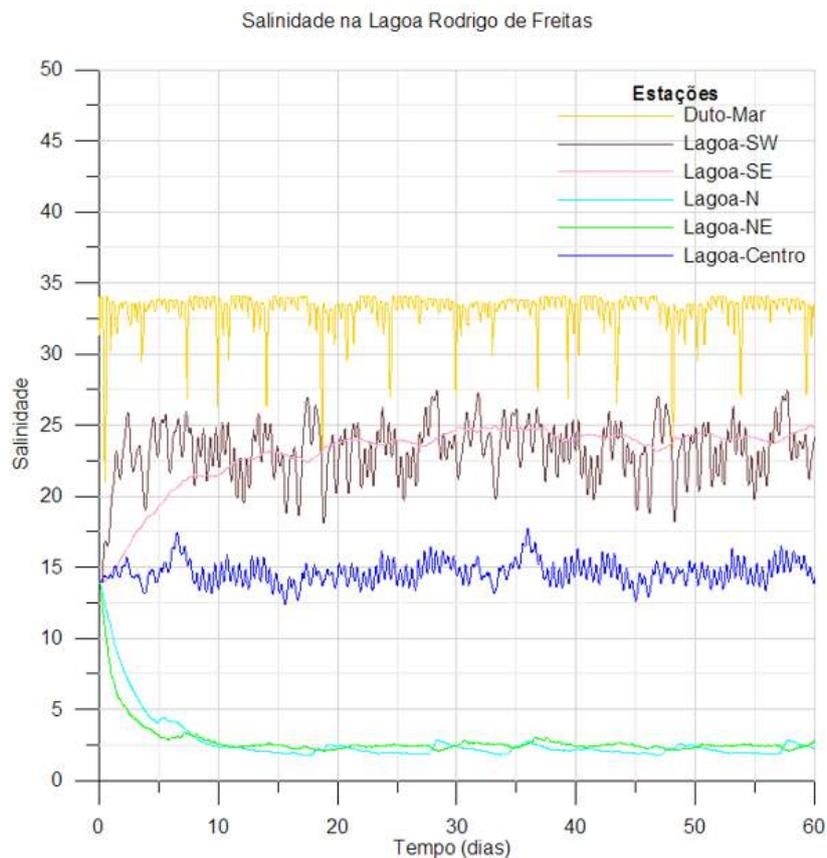
A DBQ apresenta os maiores valores na estação Lagoa-NE, em torno de 7.5 mg/L. Já os menores valores são encontrados na estação Lagoa-SE. As outras estações apresentam seus valores de DBO entre as duas estações citadas anteriormente (Figura 16).

#### 4. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

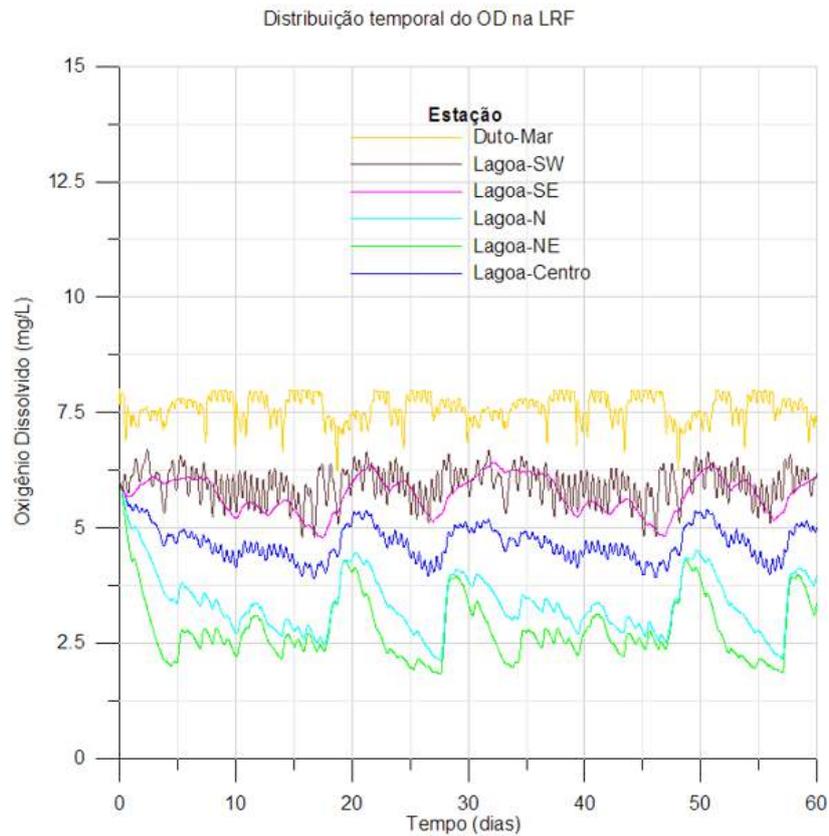
Na situação atual, a deficiente ligação da Lagoa Rodrigo de Freitas com o mar através do Canal do Jardim de Alah é resultante da obstrução frequente da respectiva embocadura, motivada pela deposição de areias movimentadas pela agitação marítima. Embora haja um grande esforço de limpeza desta zona do Canal, por dragagem mecânica localizada e (quase) permanente, ele não tem sido suficiente para controlar o assoreamento



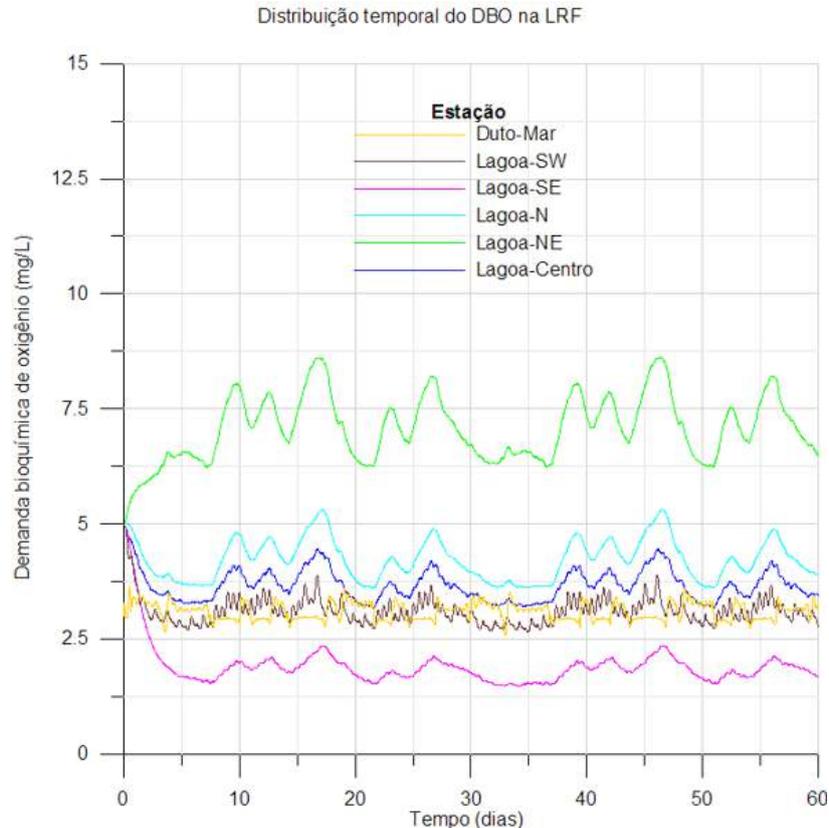
**Figura 13.** Prognóstico da taxa de renovação em porcentagem da Lagoa Rodrigo de Freitas no decorrer de 45 dias. Foram plotados os comportamentos nas estações de controle.



**Figura 14.** Prognóstico da distribuição da salinidade na Lagoa Rodrigo de Freitas no decorrer de 60 dias. Foram plotados os comportamentos nas estações de controle.



**Figura 15.** Prognóstico da distribuição do oxigênio dissolvido (OD) em mg/L (miligrama por litro) na Lagoa Rodrigo de Freitas no decorrer de 60 dias. Foram plotados os comportamentos nas estações de controle.



**Figura 16.** Prognóstico da distribuição da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em mg/L (miligrama por litro) na Lagoa Rodrigo de Freitas no decorrer de 60 dias. Foram plotados os comportamentos nas estações de controle.

do Canal ao longo da sua extensão até à Lagoa Rodrigo de Freitas. Como consequência, a troca de massas d'água entre a lagoa e o mar é deficiente, reduzindo a renovação das águas, o que repercute na degradação da qualidade da água (AMBIENTAL, 2002).

Foi verificado pelos resultados do modelo de circulação hidrodinâmica que as correntes na LRF continuariam com pequenas magnitudes. Aplicando um modelo bidimensional de transporte euleriano ao resultado hidrodinâmico, foi gerado o mapeamento do tempo de residência previsto após a implantação dos dutos afogados. Os modelos foram rodados até não haver mais locais com concentração superior a 10% da inicial. Com a análise dos resultados, o tempo de residência se mostrou variável na área da lagoa. Estima-se um tempo de residência de cerca de 20 a 30 dias para a lagoa como um todo. Levando em consideração efeitos tridimensionais, e o fato de a água do mar ser mais fria e salgada que as águas da lagoa, a renovação real seria mais rápida. Isso ocorreria porque águas mais frias e salinas nas marés enchentes iriam para o fundo, e nas vazantes as águas que sairiam seriam águas misturadas, menos salinas e mais quentes da lagoa. Portanto, haveria trocas mais efetivas devido à circulação residual por diferença de densidade que pelo fundo ocorreria no sentido do interior da lagoa e pelas camadas mais superficiais no sentido do Canal do Jardim de Alah. Desta forma, os dutos afogados tornariam a qualidade da água da lagoa melhor, reduzindo o tempo de residência, tendo em vista que, atualmente, a LRF tem sua comunicação com o mar bloqueada pelo assoreamento, sendo rompida esporadicamente ou necessitando de permanentes dragagens.

Dados de salinidades na LRF medidos nas décadas de 60, 70 e 80 mostram um padrão frequente de estratificação salina bem definido, com salinidades variando entre 15 e 23 numa camada superficial de ~ 1.5 m, e valores entre 19 e 31 na camada abaixo até ao fundo (LNEC, 2000). Segundo Rosman (2009), em fevereiro de 1996 houve uma súbita mudança no padrão de salinidades da LRF que persistiu pelo menos até 2000. Atualmente a lagoa é um sistema bem misturado, tanto vertical quanto horizontalmente. A salinidade média é da ordem de 14, ou seja, bem mais baixa do que a salinidade na zona costeira. O Canal Jardim de Alah apresenta grandes variações de salinidade ao longo da sua extensão, em particular quando permite a admissão de maré oceânica, com valores próximos da salinidade do mar na extremidade marítima (Soares *et al.*, 2012).

A gradação da salinidade foi percebida de forma

crescente em direção ao Canal Jardim de Alah e decrescente em direção à afluência dos rios Macacos e Cabeças junto da Ilha Piraquê e saída do túnel Rebouças. Após a simulação, foi observado que a LRF sofreria uma grande modificação em relação a esse parâmetro. A gradação da salinidade apresentada é tipicamente de sistemas estuarinos, o qual favorece a diversidade biológica. Vale a pena ressaltar que os resultados modelados são valores de salinidade médios na coluna de água. Contudo, efeitos tridimensionais causados por diferenças de densidade mostram na realidade uma situação de estratificação salina dinâmica da coluna d'água, com salinidades menores nas camadas superficiais e maiores no fundo, conforme Martins & Rosman (1999).

Através do balanço de massas de oxigênio dissolvido, o relatório LNEC (2000) propõe que na ausência da fonte de oxigênio oriunda da produção primária fotossintética, a LRF tenderá à hipoxia ou mesmo anoxia. Indicam também que quaisquer fatores que interfiram na produção fotossintética das algas podem resultar em desequilíbrios na disponibilidade de OD do sistema. O estudo considera ainda que, para atingir condições de equilíbrio mais estável em relação à oxigenação das águas, é necessária a redução do aporte de matéria orgânica oxidável. Porém, tal redução provavelmente resultará em diminuição na disponibilidade de nutrientes, contribuindo para a redução da produção autóctone e para uma situação de equilíbrio. Na simulação de OD constatou-se que a influência das águas mais poluídas do rio somente se faz sentir no entorno da Ilha do Piraquê e da saída Rebouças. Nessa área, o OD é da ordem de 3 mg/L no desemboque na lagoa, passando para valores maiores ao sul da referida ilha. A concentração de OD nas praias do Leblon e de Ipanema é da ordem de 6 mg/L, devido à saída das águas da lagoa. Esta influência é menor quanto mais se afasta da praia em sentido ao mar aberto, e quanto mais se afasta da boca do Canal do Jardim de Alah.

Nas simulações da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), após 10 dias, é claramente perceptível a influência do rio e da penetração da água do mar na lagoa. O rio traz uma concentração de DBO elevada (10 mg/L), tornando mais poluída a região do Piraquê, dessa forma o canal a oeste desta ilha apresenta concentrações até à ordem de 9 mg/L, ao sul e a leste da ilha as concentrações são em média 5 mg/L. Vale ressaltar que as estações Lagoa-NE e Lagoa-SE apresentaram comportamento opostos: a primeira estação apresentou valores crescentes (oscilando com a maré) no decorrer dos 60 dias; a outra estação contudo apresentou

valores decrescentes, também variando com a maré, para os valores de DBO (Figura 16). Após 60 dias de simulação, a diferença mais marcante, assim como o OD, foi a grande influência das águas do rio que chegam à Ilha do Piraquê, aumentando a concentração de DBO no entorno desta ilha. Essa situação se prolonga para o noroeste da lagoa. De modo geral, a parte central apresentou valores de DBO em torno de 4 mg/L; e a parte sul em torno de 3 mg/L. Também foi observado que em marés enchentes há entrada de água marinha trazendo concentrações de DBO um pouco menores.

Logo após a abertura dos dutos haverá alterações iniciais e transientes das variáveis ambientais e bióticas. Esses efeitos podem ser positivos ou negativos ao ambiente. A seguir serão apresentados alguns desses efeitos:

O *aumento da DBO* para oxidação da biomassa morta e a consequente disponibilização de nutrientes via decomposição estarão relacionados às alterações ambientais que ocorrerão na lagoa durante o período inicial de mudança dos padrões de salinidade e circulação. As características biológicas das comunidades aquáticas que sofrerão estes impactos não possibilitam a execução de ações mitigadoras. Contudo esse aumento da DBO será por um período, pois, após o consumo da matéria orgânica disponível em excesso, esse parâmetro entraria em equilíbrio.

Valores de OD, abaixo da referência da legislação pertinente, nas regiões próximas às desembocaduras de rios (Ilha Piraquê e saída Rebouças) somente atingirão os valores estabelecidos pela legislação se os rios em questão forem tratados e não chegarem poluídos à lagoa (atividade em andamento, pelo projeto Lagoa Limpa). Caso isso não ocorra, a abertura via dutos afogados somente amenizará os problemas relacionados ao OD.

Uma observação importante a ser feita é que está sendo realizada uma revisão do sistema de esgotamento sanitário local, pelo projeto Lagoa Limpa, o qual está promovendo: filmagem das galerias de águas pluviais (em andamento atualmente), limpeza da rede de esgotamento sanitário (em andamento atualmente), obras de melhoria do sistema de esgoto (em andamento atualmente) e a construção do Centro de Controle Operacional de Esgotos – CCO. Com essas intervenções, a descarga fluvial na LRF apresentará valores de OD e DBO distintos dos modelados, que seguiram os valores do EIA/RIMA 2002. Dessa forma, poderemos esperar valores mais altos de OD próximo à descarga fluvial assim como menores valores DBO na mesma área. O projeto Lagoa Limpa tem como objetivo contribuir para a recuperação

ambiental da lagoa e a melhoria da qualidade de suas águas, implementando medidas estruturantes e buscando desenvolver soluções para reverter o processo de degradação.

A *disponibilização de metais pesados* presentes no sedimento resultante da alteração dos padrões de salinidade apresentará efeitos de importância ambiental, econômica e social, uma vez que podem implicar em alterações nas comunidades aquáticas e bioacumulação de metais pesados nos peixes. Este último facto, se confirmado, é de extrema relevância, pois pode implicar em contaminação do pescado produzido na lagoa. Contudo, os processos que podem resultar na biodisponibilização de metais pesados do sedimento para a biota aquática não podem ser evitados. Assim, faz-se necessário o monitoramento da presença destes elementos nas águas e sedimentos e na ictiofauna quanto à possível contaminação.

A *redução da biomassa fitoplanctônica* resultante das alterações no padrão de circulação do sistema lagunar e o tempo de residência da água, assim como as alterações na estrutura da comunidade fitoplanctônica resultantes da mudança do padrão de salinidade podem vir a ser um impacto positivo. Contudo, deve-se ficar atento a essas mudanças na estrutura da comunidade, pois podem resultar no aparecimento de espécies potencialmente nocivas ou tóxicas. Sendo assim, seria necessário o monitoramento da comunidade fitoplanctônica.

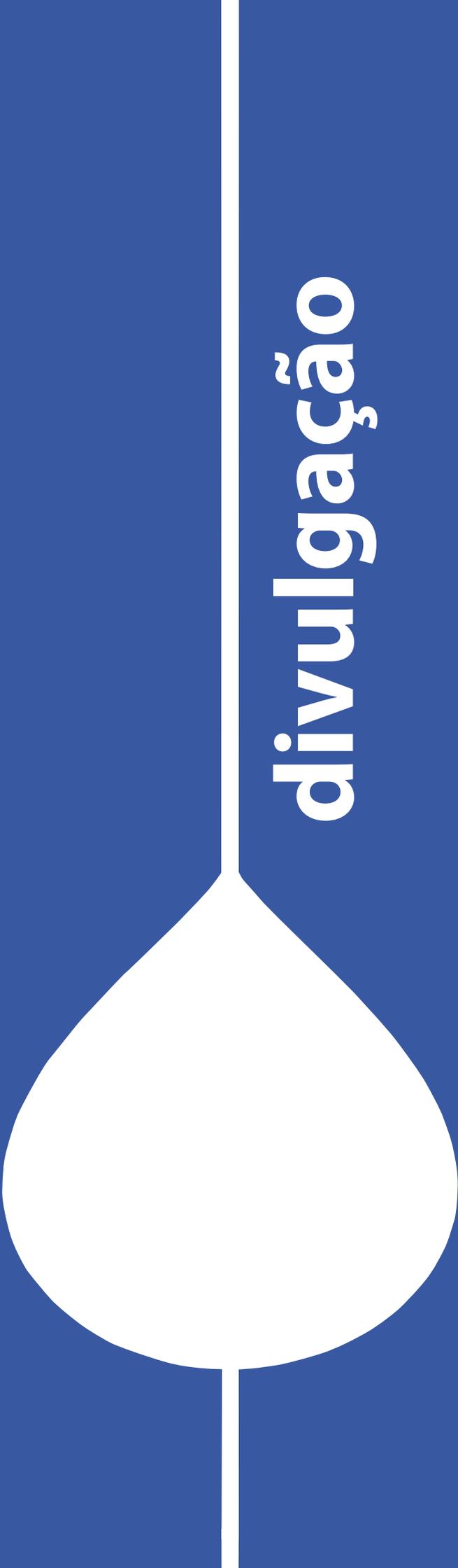
O *aumento da diversidade biológica e aumento da biomassa*, resultantes da alteração do padrão de salinidade, são impactos positivos que não precisam ser mitigados.

A *mudança no ciclo de vida da comunidade de peixes* existente, resultante da alteração do padrão de salinidade, embora possa ter profundas implicações no ecossistema do ambiente, não pode ser atenuado, uma vez que os processos envolvidos não são totalmente conhecidos e não podem ser controlados. Porém, devido à sua importância, deverá ser realizado o monitoramento da ictiofauna. O presente estudo apontou que a proposição de uma ligação permanente entre a Lagoa Rodrigo de Freitas e o mar cumpre o objetivo de mitigar os problemas ambientais relacionados ao oxigênio dissolvido na coluna d'água e de sanar de modo definitivo os seguintes problemas ambientais: *má qualidade de água* em função do excessivo estoque de nutrientes na LRF que se acumulam pelo facto de o sistema atual não exportar em taxas suficientes os nutrientes que recebe; o contínuo *processo de assoreamento do Canal do Jardim de Alah*, que acarreta em altos custos de manutenção de sua capacidade de extravasamento e garantia

da macrodrenagem da bacia da LRF; a *perda das características estuarinas* em função da estagnação e uniformização das águas da Lagoa, acarretando em biodiversidade reduzida e má qualidade ambiental; e a LRF interligada permanentemente ao mar voltaria a apresentar padrões de graduação de salinidade típica de sistemas estuarinos, o que levaria a significativo *aumento da diversidade biológica*. Inicialmente poderão ser observadas consequências adversas no ambiente, contudo, em questão de meses, haveria uma mudança radical na fauna e flora da LRF, que apresentaria melhoria da qualidade da água, aumento da diversidade de peixes e redução dos riscos de mortandade e recuperação de espaços aquáticos da Lagoa.

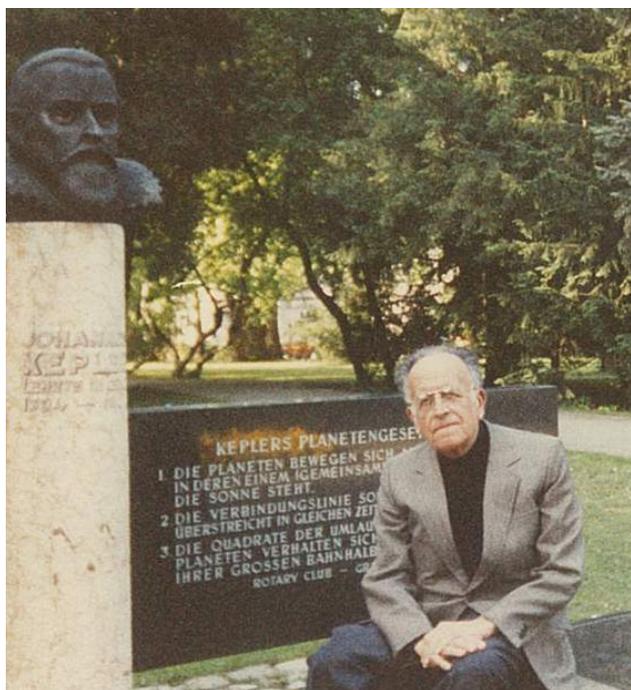
## BIBLIOGRAFIA

- Alves, Daniella Tancredo de Matos; Argento, Mauro Sérgio Fernandes; Cruz, Carla Bernadete Madureira; Zee, David - *Qualidade Ambiental da Lâmina D'água da Lagoa Rodrigo de Freitas - RJ Subsídios aos Estudos de Impactos Ambientais em Lagoas Costeiras*. INPE, 1998.
- AMBIENTAL - *EIA/RIMA - Solução Integrada de Reabilitação Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas, Canal do Jardim de Alah e Praias do Arpoador, Ipanema e Leblon*. Rio de Janeiro: FEEMA, 2002.
- Brito, I. M.; Lemos, E. E. - *Evolução geológica e fauna da lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro. Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Vol. 54. (1982). p. 143-164.
- FEEMA - *Qualidade da água da Lagoa Rodrigo de Freitas. Relatório de resultados obtidos através de campanhas de monitoramento e inspeções realizadas no período de Fevereiro/2000 a Maio/2002*. (2002). p. 40.
- LNEC - *Lagoa Rodrigo de Freitas e Praias de Leblon, Ipanema e Arpoador: Solução Integrada de Reabilitação Ambiental*. Lisboa: 2000. ISBN/ISSN:
- LNEC - *Lagoa Rodrigo de Freitas e Praias de Leblon, Ipanema e Arpoador: Solução Integrada de Reabilitação Ambiental*. Lisboa: 2003.
- Maciel, Gabriela Leite Roquette - *Análise de Dados Hidrodinâmicos e Estratificação na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ: Relação Com a Concentração de Oxigênio Dissolvido*. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ, 2007.
- Marotta, Humberto; Ricci, Renata Maria Pereira; Sampaio, Pedro Lima; Melo, Pedro Puciarelli de; Enrich-Prast, Alex - *Variações de curto prazo do metabolismo e da  $pCO_2$  na lagoa rodrigo de freitas: elevado dinamismo em um ecossistema tropical urbano*. *Oecologia Australis*. Vol. 16. n.º 3 (2012). p. 391-407.
- Martins, R.P.; Rosman, Paulo Cesar Colonna - *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 4*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999. - *Modelo 3D para corpos de água com densidade variável via diferenças finitas*.
- Oliveira, A.; Fortunato, A. - *Lagoa Rodrigo de Freitas e Praias de Leblon, Ipanema e Arpoador: Solução Integrada de Reabilitação Ambiental*. Lisboa: 2000.
- Pinto, Antônio Carlos Barreto - *Modelo Unidimensional para Simulação de Cheias em Rios e Áreas Urbanas*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007.
- RIOÁGUAS - *Plano de contingências e monitoramento da Lagoa Rodrigo de Freitas (PCMLRF)*. Rio de Janeiro: Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 2010.
- Rosman, P.C.C. - *Estudos de hidrodinâmica ambiental para ligação da Lagoa Rodrigo de Freitas ao mar via dutos afogados, RJ*. Rio de Janeiro: Fundação Coppetec, 2009. ISBN/ISSN: Projeto PENO11113
- Rosman, P.C.C.; Neves, C.F.; Melo, E. - *Solução Conjunta dos Problemas de Erosão na Praia de Ipanema-Leblon e Qualidade de Água na Lagoa Rodrigo de Freitas*. Rio de Janeiro-RJ, Brasil: COPPETEC, 1992.
- Rosman, Paulo Cesar Colonna - *Referência Técnica do SisBaHiA*. (2010). p. 209.
- Rosman, Paulo Cesar Colonna - *Ligação Lagoa-Mar, um necessidade*. *Oecologia Australis*. Vol. 16. n.º 3 (2012). p. 651-693.
- Silva, Agenor Cunha da - *Rodrigo de Freitas - Preservação Ambiental de um Cartão Postal*. Rio de Janeiro: 2010. Disponível em WWW: <<http://www.biologo.com.br/oceano/oceano3.htm>>.
- Soares, Maurício F.; Domingos, Patrícia; Soares, Fátima de Freitas Lopes; Fidalgo, Leonardo; Telles, Rodrigues - *10 anos de monitoramento da qualidade ambiental das águas da Lagoa Rodrigo de Freitas*. *Oecologia Australis*. Vol. 16. n.º 3 (2012). p. 581-614.
- Torres, J. M. - *Lagoa Rodrigo de Freitas*. Rio de Janeiro: Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 1990.



**divulgação**





Em Graz, Áustria. Junto de lápide evocativa das leis de Kepler, que leccionou na Universidade.

## VULTOS PORTUGUESES EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

**Pedro Arsénio Nunes**

**1917-2000**

*Nuno Gonçalves Henriques*

*Engenheiro Civil*

Nasceu em Lisboa a 12 de Julho de 1917 e faleceu na mesma cidade em 5 de Abril de 2000.

A sua formação foi marcada por um desempenho escolar extraordinário, concluindo o Liceu Gil Vicente com média de 20 valores. Obteve a licenciatura em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico, tendo sido distinguido com a atribuição do Prémio Mira Fernandes. Para além do que os programas escolares e académicos lhe impunham e o ambiente

familiar lhe suscitava, revelou desde jovem um marcado espírito autodidacta. O estudo e os hábitos de leitura, tanto de clássicos da Literatura como de publicações científicas, aí incluídos temas pedagógicos e sociais, decorriam naturalmente de um incansável interesse pelo humano e da ideia de ascensão pela cultura e pelo trabalho.

Refira-se ainda o estudo de línguas estrangeiras, nomeadamente o italiano, o francês, o inglês e o alemão. Frequentou o Conservatório Nacional, tendo concluído o Curso Superior de Piano e Composição.



**Figura 1.** Com o irmão Mário (viria a ser Director do Instituto de Medicina Legal) junto do seu pai José.

Por outro lado, a disponibilidade para o conhecimento das manifestações artísticas contemporâneas tê-lo-á levado mais tarde, a dar uma particular atenção à evolução das práticas

arquitectónicas. E o empenho que pôs em combater, de algum modo, o manifesto divórcio, existente em Portugal entre duas disciplinas que entendia deverem complementar-se, levou-o, na sua própria actividade profissional, a promover, sistemática e activamente, um profícuo diálogo entre Arquitectos e Engenheiros. Testemunha esse esforço o apreço com que os seus colaboradores recordam a sua maneira de trabalhar em equipa, com exigência de rigor, mas também com a confiança científica e humana que neles, mais velhos e mais novos, depositava; e testemunha-o a modernidade técnica e formal das obras que dirigiu.

Iniciou a sua carreira profissional em Outubro de 1940 como Assistente de Matemáticas Gerais no Instituto Superior Técnico, até integrar em Março de 1941 os quadros da antiga Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos, tendo sido sucessivamente promovido até atingir o cargo de Chefe de Repartição de Projectos da Direcção de Serviços de Aproveitamentos Hidráulicos.

Nesse período, depois de concluído o curso de oficial miliciano na arma de Engenharia, foi mobilizado com o posto de Alferes para Cabo Verde, onde exerceu as funções de Delegado dos Serviços de Engenharia do Comando Militar na ilha do Sal, tendo sido responsável pela execução de diversas obras relacionadas com o abastecimento de água e com o saneamento básico na ilha. Refira-se a sua contestação relativa a uma ordem do seu Comandante para comparecer com o seu Pelotão no serviço de escala da formatura geral para o içar da bandeira, por entender que esta presença conflituava com as obras de organização do terreno de que era responsável, e que no entanto não obistou ao expressivo louvor dado por aquele Comandante quando cessou funções.

De 1944 a 1945 foi bolseiro do Instituto de Alta Cultura no Centro de Estudos de Engenharia Civil, que viria a ser integrado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, tendo estudado a técnica de ensaios de resistência de barragens sobre modelo. Casou em 1947, tendo tido quatro filhos.

A partir de 1946 acumulou as funções de Adjunto da Comissão de Fiscalização das Obras dos Grandes Aproveitamentos Hidráulicos.

A sua actividade na Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos desdobrou-se por diversas áreas, nomeadamente:

- colaboração nos estudos em que se baseou a elaboração dos planos gerais de aproveitamento hidroeléctrico dos rios Zêzere e Cávado-Rabagão, que serviram de base à outorga das respectivas concessões, e também nos estudos relativos ao aproveitamento hidroeléctrico



**Figura 2.** Suécia - 1947\_Casal Arsénio Nunes numa visita de estudo a barragens na Suécia.

das bacias hidrográficas dos rios Guadiana, Paiva, Lima e Douro (tendo sido pessoalmente responsável pela concepção do plano geral do Douro Nacional);

- estudo de diversos problemas relacionados com obras de hidráulica agrícola, designadamente a actualização dos estudos preparatórios da execução das barragens do Maranhão, Montargil e Silves e das redes de rega do Sorraia;
- acompanhamento do projecto, da construção e da exploração da sistematização, rega e enxugo do vale do rio Lis;
- apreciação dos projectos definitivos para a construção dos aproveitamentos hidroeléctricos de Castelo do Bode, Venda Nova, Salamonde e Cabril e sua fiscalização.

Quando em finais de Setembro de 1948 se preparava para transitar para o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, onde iria prosseguir uma carreira ligada à investigação no domínio da Hidráulica (transferência já acordada entre o Director do LNEC, Eng.º Arantes e Oliveira e o Director-Geral dos Serviços Hidráulicos, Eng.º Duarte Abecasis), vê essa transferência contrariada por parte do Ministro das Obras Públicas, que lhe reservava uma missão de elevadíssima responsabilidade, no âmbito do Ministério dos Negócios Estrangeiros: uma deslocação aos Estados Unidos, com vista à negociação da utilização do programa de assistência técnica dos Estados Unidos aos países participantes no Plano Marshall. Nessa missão

submeteu à apreciação norte-americana o projecto de aproveitamento do Carrapatelo, no rio Douro, de que era autor.

Refere Fernanda Rollo, em artigo publicado pela Ordem dos Engenheiros [De Picote a Carrapatelo...]: «*Terá sido este estudo que, em 1949, o engenheiro Pedro Nunes “levou debaixo do braço” para os EUA e submeteu à apreciação dos especialistas do Denver Office do Bureau of Reclamation e que veio a ser proposto como candidato ao programa de assistência técnica. Na verdade, o pedido de assistência técnica relativo ao aproveitamento do rio Douro foi originalmente submetido em Março de 1950 e apresentava o documento intitulado Hydroelectric Development of the River Douro - Carrapatelo Plant, solicitando como auxílio técnico americano a revisão do anteprojecto da barragem e central do Carrapatelo, o qual tinha sido preparado pela Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos.*»

Com efeito, a primeira tarefa do Eng.º Pedro Nunes nos Estados Unidos foi justamente a de seleccionar o organismo oficial americano a quem se solicitaria um parecer sobre o projecto de aproveitamento do Carrapatelo, ao qual a Direcção-Geral dava então primazia. Para tal, equacionou, entre outras entidades: o “Bureau of Reclamation”, o “US Army Corps of Engineers” e o “Tennessee Valley Authority”. O Eng.º Pedro Nunes sugeriu — e foi aceite — a escolha do “Bureau of Reclamation”, pois apesar de esta entidade não ter, ao contrário do “US Corps of Engineers”, experiência em obras de navegação interior que o escalão de Carrapatelo exigiria, dispunha todavia, em seu entender, de técnicos com alguma experiência em tais obras, e possuía sobretudo uma vasta experiência em projectos com a complexidade de Carrapatelo, o que era muito importante devido à necessidade da concentração, num vale relativamente apertado, de um evacuador de cheias com capacidade excepcional, de uma central com grupos de características igualmente excepcionais e de uma eclusa de navegação com capacidade média.

Antes de partir para Denver, onde visitou o “Bureau of Reclamation” e algumas das suas principais obras, avaliou em Washington os currículos de dois dos maiores gabinetes de projecto americanos, que foram objecto de um Relatório detalhado, para obter um parecer sobre o aproveitamento do Carrapatelo<sup>1</sup>.

De regresso a Portugal, continuou a sua actividade na Direcção de Serviços de Aproveitamentos Hidráulicos. Destaca-se uma conferência notável que então proferiu na Ordem dos Engenheiros em 21 de Agosto de 1951, intitulada “Doutrinas Hidroeléctricas — o caso do

Alvito”, objecto dos mais rasgados elogios por parte do Ministro das Obras Públicas, Eng.º José Frederico Ulrich, entre outras personalidades, e que teve forte repercussão no meio da engenharia hidráulica portuguesa. Refira-se, a título de exemplo, as palavras de felicitações “*pela serena objectividade e clara inteligência que caracterizam o seu trabalho*” que lhe foram transmitidas pelo Eng.º Paulo de Barros, gerente da União Eléctrica Portuguesa.

Na referida conferência, o Eng.º Pedro Nunes aborda a questão de como realizar o ajustamento das disponibilidades hidroeléctricas, com as variações sazonais relevantes e as variações horárias pouco sensíveis, com as exigências do consumo de electricidade, caracterizado por pequenas variações sazonais mas grandes variações horárias.

Após explicar a importância da interligação das centrais produtoras, aborda a temática da gestão da cobertura do diagrama de cargas pelos diversos tipos de centrais, de base, de ponta e de regularização.

Explica, seguidamente, que a característica funcional de uma albufeira é a capacidade de deslocação no tempo da energia produzida ao passo que a interligação das centrais opera uma deslocação no espaço. Sublinha que pela interligação das centrais hidroeléctricas, aquelas que dispõem de albufeiras podem transferir o esvaziamento para os períodos de insuficiência de potência dos aproveitamentos a fio de água.

A energia produzida pelas centrais dos aproveitamentos a fio de água é valorizada pela interligação com as centrais dos aproveitamentos com albufeiras, porque essa interligação permite que as centrais a fio de água trabalhem na base do diagrama de consumo, deixando para as albufeiras - pequenas ou grandes - o chamado serviço das pontas.

Refere que, nas condições de relevo orográfico normalmente ocorrentes, a extensão das obras de derivação (através de galerias, canais ou condutas forçadas) que permitem a comunicação de bacias hidrográficas vizinhas (ampliando a bacia hidrográfica), é mais reduzida nas altitudes elevadas. Por esse motivo, e porque o valor energético de cada metro cúbico de água é, nessas altitudes, maior - visto ser maior a queda que pode ser utilizada - é nas grandes altitudes que as ampliações das bacias hidrográficas se tornam economicamente interessantes.

Menciona ainda a possibilidade de reforçar o caudal afluente, por elevação da água numa bacia hidrográfica situada a cota inferior, concluindo que para o êxito económico da alimentação por bombagem numa albufeira, se torna necessário: ou

ter assegurado um preço da quantidade de energia necessária à bombagem francamente mais barato do que o preço da venda da energia produzida posteriormente; ou dispor, para a produção ulterior de energia, dum queda francamente maior do que a altura da elevação na bombagem.

Seguidamente aborda a questão das albufeiras de compensação inter-anual. Considera que, nos países cuja electrificação está no início, como era o caso português em 1951, o risco económico associado à frequência reduzida dum sucessão de anos secos é elevado, porque a utilização desse tipo de albufeiras é pouco frequente, concluindo que a função de compensação inter-anual de anos consecutivos excepcionalmente secos, por ser uma função de reduzida utilização, deve ser assegurada pelo apoio térmico, por ser mais económico.

Refere ainda: *"Dentro de cada Plano Geral, há sempre uns tantos escalões "fundamentais", cujas características construtivas se impõem e aos quais, na realidade, os outros escalões têm de estar subordinados. E a boa política de execução é, naturalmente, começar por esses escalões fundamentais, pois que são praticamente independentes das possíveis alterações dos Planos Gerais."*

Passou então a analisar o caso do projecto da albufeira do Alvito, a estabelecer no rio Ocreza com uma capacidade útil ( $1.100 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) correspondente a uma função de compensação inter-anual, concluindo:

*"Como as condições económicas verdadeiras da produção em Alvito, sem derivação, não são de modo nenhum melhores do que as do Zêzere sem derivação, parece que há o direito de concluir que, mesmo com o benefício da derivação de Bogas, as condições económicas verdadeiras de Alvito, à face dos números do anteprojecto, não nos parecem melhores do que as do Zêzere."*

*Por conseguinte, ainda que as restantes bases do anteprojecto da barragem estivessem certas, entendo que o seu traçado é erróneo, mesmo como anteprojecto, ou melhor, atendendo especialmente a que se trata de um anteprojecto. Com efeito, a "precariedade" que devemos atribuir às condições previstas para o estabelecimento dos encontros em qualquer das margens, obriga-nos a admitir como muito provável a necessidade de estabelecer uma barragem com raios e, conseqüentemente, espessuras muito maiores do que as deste anteprojecto.*

*Mesmo que admitíssemos a aceitabilidade das condições de implantação no terreno, teríamos que considerar o traçado apresentado da barragem de Alvito como manifestamente longe daquilo que no estádio de anteprojecto se deve exigir para a demonstração da viabilidade económica.*

*A pretendida justificação económica do aproveitamento de Alvito fundamenta-se numa barragem com  $550.000 \text{ m}^3$  de betão, sem viabilidade construtiva. E o próprio anteprojecto apresenta uma outra solução, com  $770.000 \text{ m}^3$ , que também não é aceitável."*

Em conclusão, resumiu deste modo o caso do anteprojecto do Alvito, proposto pelo Professor Alberto Manzanares:

*1º Se se tivesse decidido suspender a construção do escalão de Cabril, para se passar à construção da barragem de Alvito, com vista ao estabelecimento imediato de uma albufeira de regularização inter-anual, não só se provocaria um atraso de, pelo menos, 2 anos na entrada em exploração dum novo aproveitamento hidroeléctrico, como se enfeudaria a nossa política de fomento hidroeléctrico a doutrinas e a tipos de construção essencialmente arriscados.*

*2º Não há no anteprojecto ultimamente apresentado do escalão de Alvito, incluindo a variante com derivação do Zêzere, a demonstração de que as suas condições energéticas e económicas verdadeiras seriam melhores do que as do aproveitamento do Zêzere.*

*3º Decidindo não suspender a construção do escalão de Cabril, não se comprometem as virtudes da compensação inter-anual que o escalão de Alvito eventualmente tenha em potencial, nem tão pouco as garantias de mais completo aproveitamento dos recursos hidroeléctricos das bacias do Zêzere e do Ocreza."*

Em 1953 ingressou como Chefe de Serviços de Engenharia Civil na recém-constituída Hidro-Eléctrica do Douro (cargo que manteve até à sua saída em 1959), empresa de capitais públicos e privados à qual foi outorgada a concessão dos aproveitamentos do Douro. Nessa qualidade coordenou:

- a elaboração do projecto do escalão de Picote (tendo sido solicitada a colaboração da Direcção de Serviços de Engenharia Civil da Hidro-Eléctrica do Zêzere, chefiada pelo Eng.º António Carvalho Xerez, na elaboração do projecto da barragem propriamente dita);
- a elaboração do projecto e construção do aproveitamento de Miranda do Douro, bem como a fase preparatória do projecto de Bemposta;
- E os trabalhos de elaboração do Plano Geral de aproveitamento dos afluentes do rio Douro, o qual viria a ser concluído já após a sua saída da empresa.

O projecto do escalão de Picote, nas suas múltiplas vertentes, viria a constituir um marco extraordinário de pioneirismo na engenharia portuguesa, merecendo especial destaque. Refira-se, desde logo, que coube ao Eng.º Pedro Arsénio Nunes a responsabilidade pela coordenação de uma equipa pluridisciplinar integrando, nomeadamente, arquitectos e engenheiros silvicultores, para enfrentar e resolver os impactos paisagísticos, ecológicos, socioeconómicos e culturais de Picote, num esforço considerável para minorar os aspectos negativos e valorizar os aspectos positivos da obra, numa época em que ainda não se falava em avaliações de impacto ambiental. Como exemplo desse esforço, refira-se que foram plantadas inúmeras árvores e plantas nas proximidades do aproveitamento, depois de realizados diversos ensaios para avaliar quais as espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas que melhor se adaptavam ao local e que resultavam mais favoráveis, ou ainda o lançamento de trutas na albufeira, ainda que sem grandes resultados (Figura 3).

Três arquitectos recém-formados tiveram então liberdade para dar azo à sua criatividade e transformar num local habitável um morro nas escarpas do Douro Internacional, numa região isolada onde faltava praticamente tudo. Foi assim que João Archer de Carvalho, Nunes de Almeida e Rogério Ramos projectaram em meados dos anos 50 o que os

interessados na arquitectura moderna classificam hoje como «uma cidade ideal», fundada a partir do nada, com todas as infra-estruturas e serviços, inacessíveis à maioria da população daquela época. Os habitantes daquela cidade ideal foram dos primeiros, no Nordeste Transmontano, a ter água canalizada e tratada numa estação de tratamento que ainda hoje serve parte do concelho de Miranda do Douro.

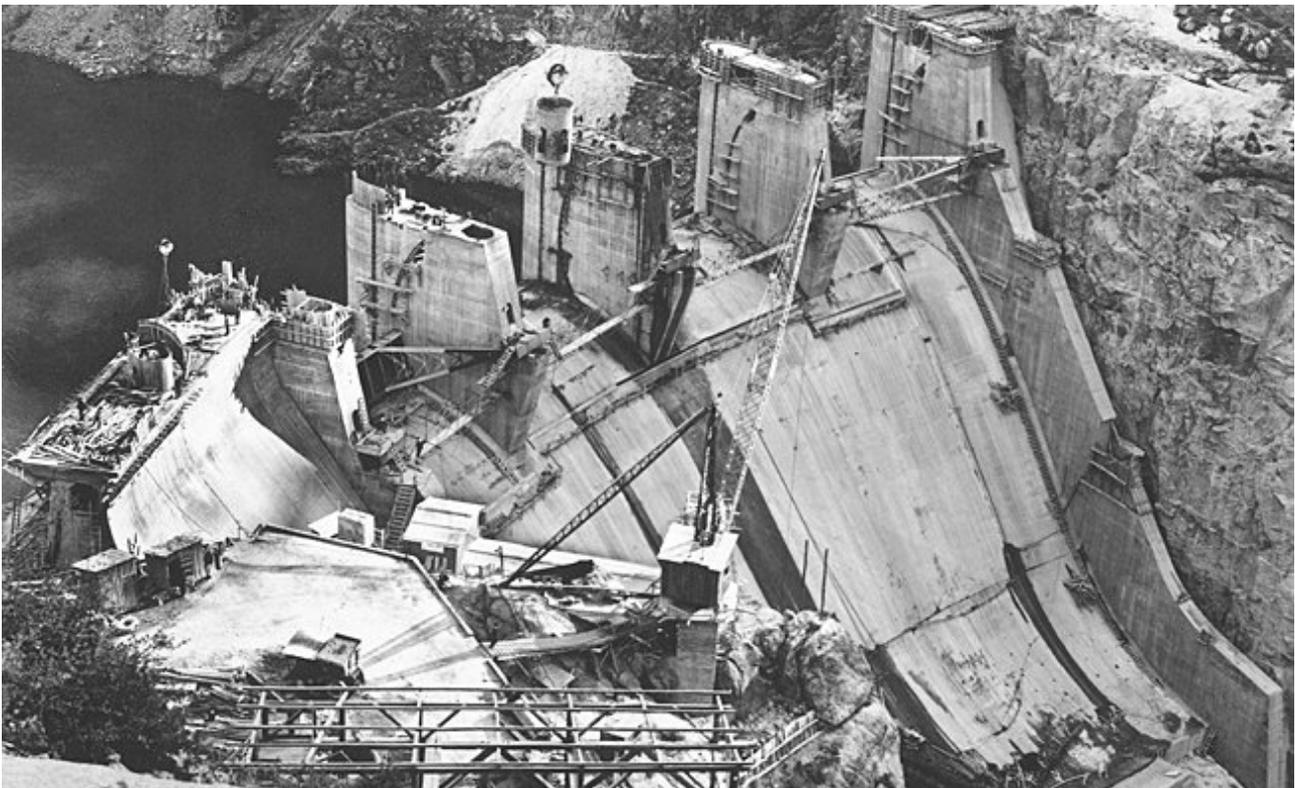
Disponham também de cinema num cineteatro com salão de festas, de piscina, e de um centro comercial com padaria, peixaria, talho, mercearia, barbearia, e estação dos correios.

O esmero foi presença constante nesta cidade fundada do nada, que ficou completa com um refeitório, uma escola, uma capela (projecto da autoria do arquitecto Nunes de Almeida) e um posto médico, com especialidades ainda hoje na lista de carências da região, nomeadamente estomatologia ou raio X (Figura 4).

Na zona habitacional não há muros ou vedações. Os jardins são o monte.

Alguns registos asseguram que chegaram a viver ali 6500 pessoas no tempo áureo da construção da barragem, que ganhou o nome da velha aldeia de Picote.

O arquitecto João Archer de Carvalho foi o autor do projecto do Edifício de Comando e da Central subterrânea (Figura 5).



**Figura 3.** Barragem de Picote em construção.



**Figura 4.** Capela de Picote - Arq.º Manuel Nunes de Almeida.



**Figura 5.** Edifício de Comando e Central Subterrânea de Picote - 1954 - Arq.º João Archer de Carvalho.

A estalagem de Picote (da autoria do arquitecto Rogério Ramos) constitui um dos edifícios arquitectonicamente mais significativos desse novo núcleo urbano. Implantadas no cimo de um morro, na paisagem dura, austera e intensa de Trás-os-Montes, as obras de arte completam, enriquecem e valorizam os novos espaços: desde o elemento plástico natural - a pedra colocada no jardim à frente da sala de estar - aos quadros e às esculturas encomendadas a vários artistas plásticos como Júlio Resende, Barata Feyo, Gustavo Bastos e Luiz Cunha. A estalagem é composta por dois corpos: os quartos e zonas de público destinados ao pessoal técnico situam-se no corpo de três pisos virado para a paisagem e para sul (quartos nos pisos superiores e salas no nível térreo); paralelo a este, separado por um pátio, fica o corpo de um piso destinado a alojamento dos motoristas. O tema da relação com o exterior é desenvolvido por diferentes meios: o pátio liga-se por passagens ao terreno circunstante, e os alpendres e o balanço do corpo elevado proporcionam espaços exteriores de

transição; no interior, as salas relacionam-se com o terreno através de envidraçados a toda a altura, e os quartos têm varandas orientadas para a paisagem. Os jardins da estalagem foram executados pela equipa de jardineiros da Hidro-Eléctrica do Cávado (Figura 6).



**Figura 6.** 1955\_Estalagem de Picote - Arq.º Rogério Ramos.

Em 1954 o Eng.º Pedro Nunes foi nomeado Adjunto da Comissão Luso-Espanhola para regular o aproveitamento hidroeléctrico do Douro Internacional, desempenhando estas funções até 1959 e acumulando, desde 1957, com as funções de Vogal do Conselho Superior de Obras Públicas, como Engenheiro Civil especialista de aproveitamentos hidroeléctricos.

A sua passagem pela Hidroeléctrica do Douro, de 1953 a 1959, correspondeu, sem dúvida, à realização profissional mais significativa da sua vida. Viu-a, no entanto, como interrupção da dedicação ao serviço público, que identificava com a função pública.



**Figura 7.** Itália 1956\_ Acompanhado por - a contar da esquerda - Eng.º Álvares Ribeiro e Eng.º Gonçalves Henriques da HiDouro.

O seu regresso a Lisboa e à função pública, decidido em meados de 1959, ao aceitar o convite para exercer o cargo de Director-Geral da Administração-Geral do Porto de Lisboa, poderá ter constituído manifestação da sua preferência por servir o Estado, em combinação com ponderosos motivos de ordem familiar (Figura 8).



**Figura 8.** 1959 - Tomada de posse de Director-Geral da AGPL.

Merecem destaque várias realizações levadas a cabo pelo Porto de Lisboa no período em que foi responsável pela sua gestão.

A mais relevante terá sido a profunda revisão da Lei Orgânica da AGPL datada de 1948, levada a cabo através do Decreto-Lei n.º 47 489 de 9 de Janeiro de 1967, pelo qual foram remodeladas a administração e a direcção do Porto, foram reorganizados os serviços, foi ajustado o esquema de distribuição do pessoal por categorias, classes e remunerações, proporcionando uma mais saudável movimentação dos quadros, foi aperfeiçoado o modelo de formação e de aperfeiçoamento profissional, foram revistas as disposições reguladoras da substituição de responsáveis e da delegação de competências, no sentido de libertar os dirigentes superiores do despacho dos assuntos de rotina, foram flexibilizadas as transferências de verbas integradas nos fundos especiais de que dispõe o Porto de Lisboa para cobertura de eventuais défices do orçamento principal e para a constituição ou reconstituição de stocks para armazém.

A partir de 1960 o Porto de Lisboa inaugurou uma nova e importante etapa no âmbito da reconversão do tráfego portuário – o desenvolvimento da contentorização –, acompanhando as modificações profundas observadas no transporte marítimo de mercadorias, evoluindo no sentido de uma maior especialização e aumento da dimensão dos navios,

reflectindo a liberalização da economia mundial e assumindo o Porto a função de ligação crucial entre os meios de transportes marítimos, fluviais e terrestres.

Refira-se, neste contexto, que o Eng.º Pedro Nunes supervisionou o projecto e a construção do novo cais de Xabregas e o projecto e a construção do novo entreposto de Xabregas e, em 1965, a ampliação do cais de Alcântara, que foi submetido a obras de recuperação. Assim, procedeu-se a novo avanço sobre o rio, de 80 metros, numa extensão de 1100 metros, assegurando maiores profundidades de águas e aumentando o terrapleno na ordem de nove hectares, mantendo-se assim a vitalidade de uma zona portuária sempre considerada a mais nobre do porto de Lisboa.

Em 1965 foi construído o estaleiro da Lisnave, na Margueira, equipado para a reparação de grandes navios. Refira-se a este propósito que o Eng.º Pedro Nunes, sempre orientado pelo princípio da prioridade do interesse público e atento ao dispositivo jurídico da própria Constituição vigente, tentou em vão — contra a opinião de Salazar — opor-se à alienação de terrenos do domínio público para a empresa construtora, em alternativa à qual defendia a fórmula da concessão.

Em Outubro de 1970, entrou em funcionamento o Terminal de Contentores de Santa Apolónia, apetrechado para o desembarque e embarque de contentores, com gruas porta-contentores, incrementando a eficácia e, conseqüentemente, os ganhos.

Merece relevo a renovação do equipamento de tráfego terrestre e flutuante e de dragagem, nomeadamente:

- a aquisição do guindaste flutuante “Eng.º Sá Nogueira”;
- a aquisição das dragas escavadoras “Eng.º Henrique Schreck” e “Eng.º Santos Silva”, e de dois novos rebocadores (entre os quais o “Cabo da Roca”).

Refira-se a inauguração do porto de Pesca de Pedrouços e a posterior concessão da exploração do porto à Docapesca; e, em 1973, o início da construção de um novo cais com 500 metros de extensão, no prolongamento para montante do Terminal de Contentores de Santa Apolónia.

Sublinha-se também a criação das Obras Sociais do Porto de Lisboa e o investimento no Centro Médico-Cirúrgico em Santos, no âmbito dos serviços clínicos das Obras de Assistência ao pessoal e familiares da Administração-Geral do Porto de Lisboa, inauguradas em 1964, e o investimento em novas bibliotecas a cargo das obras sociais e culturais da AGPL.

Merecem ainda destaque o planeamento da expansão do Porto para a margem esquerda, o plano de protecção e melhoramento da zona marginal de Algés a Santo Amaro de Oeiras e a concessão do Motel de Oeiras.

Cumulativamente com as funções desempenhadas no Porto de Lisboa, exerceu a partir de 1962 a actividade de consultor da Hidro-Eléctrica do Douro e, nesse mesmo ano, foi designado membro do júri do concurso para Investigadores do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Em 1973 foi nomeado para o cargo vitalício de Inspector-Geral do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, que exerceu até à sua aposentação.

Como Secretário de Estado das Obras Públicas do 1º Governo Provisório, no período entre Maio e Julho de 1974, a sua actividade foi fortemente condicionada pelo conflito entre o Conselho de Administração e a Comissão de Trabalhadores da Companhia das Águas de Lisboa, o qual, no seguimento da ocupação das instalações por um grupo de trabalhadores que exigia o despedimento da administração e a antecipação do fim do contrato de concessão, viria a culminar na deliberação do Conselho de Ministros de 24 de Junho de 1974, que determinou o resgate da concessão e ordenou que *o "Governo assumisse, por intermédio da Comissão de Fiscalização das Águas de Lisboa, a administração e posse de todas as obras e águas da Companhia, sem prejuízo dos legítimos interesses dos accionistas"*<sup>2</sup> (Figura 9).

Terminadas as funções governativas, regressou ao Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, onde então assumiu efectivamente a actividade de Inspector-Geral, sendo nomeado em 1982 Presidente da Secção de Hidráulica do referido Conselho.



**Figura 9.** 1974 - Secretário de Estado de Obras Públicas.

No Conselho Superior interveio particularmente na apreciação dos processos relativos à criação das regiões administrativas e das regiões-plano, elaborou pareceres sobre projectos de expansão dos Portos de Viana do Castelo, Figueira da Foz, Sines e Horta, sobre planos gerais de gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Minho, Mondego, Tejo e Guadiana e sobre o projecto da nova ponte ferroviária sobre o rio Douro na cidade do Porto (Ponte de S. João). Presidiu, em representação ministerial, aos gabinetes coordenadores das obras municipais dos distritos da Horta, Santarém, Porto e Aveiro. Participou em comissões de estudo sobre a delimitação de competências das autoridades hidráulicas e portuárias, a regulamentação da participação de geólogos em trabalhos de engenharia, e a cooperação internacional no âmbito da engenharia.

Interveio em peritagens sobre a construção do Metropolitano de Lisboa, a barragem de Chicamba, em Moçambique, e o plano de apetrechamento do Porto de La Guaira, na Venezuela. Como consultor, teve intervenções no âmbito nacional (barragens de Vilar e Carrapatelo e Metropolitano de Lisboa) e internacional (na Venezuela, no Paraguai e no plano de abastecimento de água a Lourenço Marques).

Em Julho de 1979 presidiu ao recém-constituído Grupo de Apoio Técnico incumbido de orientar as obras de emergência necessárias à reparação do molhe Oeste do Porto de Sines, até à conclusão dessa obra, tendo o G.A.T. sido extinto em Fevereiro de 1980.

De 1979 a 1982 foi Vogal do Conselho Geral da empresa pública Cimentos de Portugal (CIMPOR), em representação do Ministério de Obras Públicas e Transportes, e foi Presidente do Conselho Geral do Instituto do Trabalho Portuário, função de que nesse último ano se demitiu.

Foi também membro da delegação portuguesa da Associação Internacional de Congressos de Navegação de 1960 a 1977.

Depois de aposentado (1984), continuou a exercer a profissão no regime de trabalho independente.

Refira-se a sua colaboração com a Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, no Seminário organizado por esta Associação em 26 e 27 de Fevereiro de 1985 dedicado ao "Ensino e Investigação no Domínio da Hidráulica e dos Recursos Hídricos", em que fez uma apresentação intitulada "Reflexões sobre Divulgação da Investigação".

Autor de mais de uma dezena de publicações no domínio dos aproveitamentos hidráulicos, foi também designado Coordenador da redacção do *Relatório do Comité de Deterioração de Barragens*, da Comissão Internacional das Grandes Barragens,

editado em 1984. De entre outras intervenções públicas, referem-se a Lição sobre Teoria da Compactação, inserida no 1º Curso de Mecânica dos Solos, organizado pela Ordem dos Engenheiros; uma conferência no âmbito das Jornadas de Ouro da Engenharia Portuguesa, em 1986, sobre Engenharia Civil e Regionalização, na qual exprime a sua crença nas virtualidades da regionalização como instrumento de democracia participativa, advertindo ao mesmo tempo para os riscos de criação de uma nova camada de burocratas locais<sup>3</sup>. Em 1992, proferiu uma intervenção, por ocasião das homenagens ao Eng.º Manuel Rocha, no 10º aniversário da sua morte, em cerimónia realizada nos Paços do Concelho da Figueira da Foz, intitulada *Manuel Rocha e o seu Tempo*.

Para além da colaboração em revistas da especialidade, participou na direcção da *Técnica - Revista de Engenharia*, da Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico (1938-39); e, no quadro da preocupação — que caracterizou a sua personalidade humana e profissional — com a necessidade de uma componente humanística na formação técnica dos engenheiros, dirigiu a revista *Engenharia — Ciências e Técnicas* (1982-84), que incluiu em cada número uma página dedicada à divulgação da obra de engenheiros que se tivessem afirmado também pela sua produção artística ou literária. Colaborou ainda no *Dicionário Cronológico de Autores Portugueses* com os textos biobibliográficos respeitantes a Gomes Teixeira (vol. II, 1990), Mira Fernandes (vol. III, 1994) e Manuel Rocha (vol. IV, 1997).

No plano do associativismo profissional e académico, refira-se a inscrição, logo em 1940, na Ordem dos Engenheiros e, em 1949, como membro vitalício, na Associação Internacional Permanente dos Congressos de Navegação, de cuja Comissão Nacional Portuguesa foi membro de 1960 a 1977.

Na Ordem dos Engenheiros, participou na actuação das Comissões de Estudo de Mecânica dos Solos, de Aproveitamentos Hidroeléctricos e de Formação Escolar e Pós-Escolar. De 1960 a 1970, foi Vogal do Conselho Superior Disciplinar, tendo sido eleito em 1970 Presidente do Conselho Geral (Bastonário) da Ordem dos Engenheiros, cargo que desempenhou até 1973. Refira-se, entre outros editoriais que fez publicar no Boletim da Ordem dos Engenheiros, o publicado no Boletim n.º 10 (Outubro de 1971), criticando o projecto de proposta de lei sobre o Ensino Politécnico, por este não contemplar a sua integração na Universidade. De 1978 a 1982 foi vice-presidente da Comissão Cultural de Engenharia Civil da Ordem dos Engenheiros.

Foi membro da Comissão Nacional Portuguesa das

Grandes Barragens nos períodos de 1949 a 1953, de 1957 a 1959 e de 1977 a 1985. Entre outras contribuições de ordem cultural, participou como coordenador, na elaboração do relatório analítico dos resultados dos inquéritos realizados a nível mundial, sobre os casos conhecidos de rotura e deterioração de barragens, publicado em 1983 pela Comissão Internacional das Grandes Barragens.

A nível político, aderiu em 1980 à União Democrática Popular, tendo sido candidato à Câmara Municipal de Lisboa por esse partido político nas eleições autárquicas de 1982.

Detentor de numerosas distinções públicas, salientam-se o grau de Comendador da Ordem Militar de Cristo, em 1959, e o grau de Grande Oficial da Ordem do Infante Dom Henrique, em 1966; o louvor, como oficial miliciano, em Ordem à Guarnição da Ilha do Sal, em 1943; o louvor em portaria do Ministro das Obras Públicas, em 1953; o louvor, em despacho do Ministro da Coordenação Económica e do Plano; o louvor em despacho do Secretário de Estado do Planeamento, em 1980; e o louvor, em despacho do Ministro do Equipamento Social, em 1984.

## (ENDNOTES)

1 - Por Fernanda Rollo em Artigo publicado pela Ordem dos Engenheiros [De Picote a Carrapatelo...]:

*Para avaliar a proposta, a administração americana considerou a necessidade de enviar a Portugal dois técnicos com a missão de colher elementos informativos que permitissem à Economic Cooperation Administration (entidade da administração americana que geria o Plano Marshall), apreciar especificamente o projecto proposto e, em geral, a questão geral da produção e transporte de energia eléctrica no nosso País.*

*Samuel F. Neville e George Clemens estiveram em Portugal entre 13 e 24 de Abril de 1950.... Em 15 de Junho, apresentaram um relatório que veio a revelar-se de importância capital para a prossecução da política de electrificação portuguesa, especialmente pelo que representou em termos de estabelecimento da ordem de prioridade a que deveria obedecer a construção dos empreendimentos previstos. Foi por isso que, sem qualquer reserva, o organismo que geriu a assistência americana a Portugal, a Comissão Técnica de Cooperação Económica Europeia, deixou registado que essas decisões, há que reconhecê-lo, tiveram acentuada repercussão na resolução de certos problemas relacionais com a produção e utilização da energia eléctrica no País.*

*Relativamente ao Douro, o relatório de Neville e Clemens avançava duas recomendações: o envio de uma missão de 5 engenheiros portugueses para exame de alguns aproveitamentos hidroeléctricos americanos e que fosse contratada uma empresa americana para realizar um estudo do aproveitamento coordenado da energia térmica*

e hidroeléctrica do rio Douro, controlo de cheias, navegação e irrigação, e apontar uma ordem de prioridade para a execução das obras a realizar.

As recomendações propostas pelos técnicos foram prontamente transmitidas à CTCEE pela missão da ECA que estabeleceu o limite de 200.000 dólares para custear o estudo, recomendando e fazendo notar que sem a realização desse estudo não se poderia avançar na apreciação do projecto relativo ao Carrapatelo que o Governo português havia submetido.

O assunto foi posto à consideração do ministro das Obras Públicas que considerou que a encomenda desse estudo comprometia a concretização do projecto relativo ao Carrapatelo e a realização da respectiva obra.

Em fins de Junho de 1950, a CTCEE insistiu, submetendo à apreciação da Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos o seu ponto de vista sobre a divergência verificada e solicitando nova apreciação do assunto. Por fim, o ministro das Obras Públicas despachou no sentido de se dar seguimento à apresentação do pedido formal de um estudo global sobre o aproveitamento do rio Douro, colocando, contudo, como condição dar-se prioridade absoluta para a pormenorização do projecto do Carrapatelo, obra considerada no plano de primeira fase de assistência financeira do Plano Marshall, aprovado superiormente.

A decisão foi imediatamente transmitida à missão da ECA que, em breve, indicava um conjunto de quatro empresas americanas especializadas na elaboração de estudos dessa natureza às quais podiam ser pedidas propostas.

O exame dessas propostas conduziu à escolha da empresa de engenharia americana Knappen-Tippets-Abbott-McCarthy. Finalmente, em Abril de 1951, a candidatura do projecto ao programa foi formalmente apresentada. Pouco tempo passado, em Julho, a ECA emitiu a autorização de assistência técnica correspondente ao projecto, permitindo a realização de pagamentos até ao montante de 200.000 dólares.... Note-se, a propósito, que são diversos os testemunhos que atestam a relevância e o carácter prioritário que o Governo português atribuía a este projecto no quadro geral da estratégia prosseguida em matéria de política energética e económica, aceitando, portanto, suportar os custos que lhe eram inerentes em termos de depósito de fundo de contrapartida.

Os primeiros técnicos designados pela Knappen chegaram a Portugal em 19 de Dezembro de 1951. Estudaram largamente vários aspectos ligados ao aproveitamento do Douro, nomeadamente no campo hidroeléctrico, relativamente ao qual desenvolveram aturadas investigações, abrangendo a análise do consumo da energia eléctrica em Portugal e do seu mercado, o estudo das principais indústrias existentes e previstas, a avaliação das centrais e sistemas de transmissão e distribuição existentes e suas características técnicas. Empenharam-se também na identificação e avaliação dos recursos económicos da bacia do Douro, recolhendo elementos detalhados sobre as possibilidades de exploração dos jazigos carboníferos e de minério de ferro, bem como na análise das possibilidades existentes e futuras do tráfego fluvial e ferroviário.

Além dos funcionários da Knappen, participaram nesse estudo alguns consultores especiais, cuja visita estava prevista no contrato, chamados a dar parecer sobre temáticas diversas, designadamente sobre os jazigos carboníferos de S. Pedro da Cova e do Pejão e as possibilidades de instalação de uma central térmica.

Foi, de resto, nesse contexto, que o ministro da Economia aceitou a sugestão da Knappen de encomendar a uma outra empresa americana um estudo dos jazigos de ferro que permitisse completar o estudo da navegabilidade do Douro. A Knappen encarregou-se de encomendar o estudo, cujo relatório foi entregue em 11 de Agosto de 1952.

Esse documento apresentava o estudo das minas de Vila Cova do Marão, Guadramil e Moncorvo, analisando as perspectivas económicas e financeiras da sua exploração futura. Recomendava-se a realização de um estudo geológico completo da região de Moncorvo e a apreciação das possibilidades de criação de uma indústria do ferro que ponderasse a sua localização mais vantajosa e avaliasse as matérias-primas a utilizar.

Pouco mais tarde, em Outubro de 1952, a Knappen apresentava, em Relatório Prévio, as primeiras conclusões do seu trabalho, indicando a ordem de prioridade mais económica dos aproveitamentos a realizar no Douro.

Desde logo, era apontado como resultado do estudo que se pode produzir energia mais economicamente em pontos do Douro internacional acima do rio Tormes do que em sítios do Douro Português. Simultaneamente, referia-se que o trabalho realizado também tinha demonstrado o grande valor que tem para Portugal o funcionamento do sistema que faz pleno uso das albufeiras do Zêzere e do Cávado para garantir o fornecimento de energia nos períodos de fraca corrente de água, e as suas conclusões e recomendações baseiam-se no princípio de que este tipo de funcionamento será adoptado e de que serão tomadas medidas positivas para o activar.

Em síntese, o relatório sugeria um conjunto de seis recomendações:

1. que a barragem do Picote, situada no Douro internacional, fosse considerada obra de primeira prioridade entre os aproveitamentos hidroeléctricos a realizar na bacia do Douro;
2. que fosse projectada uma barragem de betão, com cerca de 100 m de altura e desenvolvendo uma queda de 74 m para o local do Picote, situado a 22,4 km a montante da confluência do rio Tormes; A central ficaria situada na margem portuguesa do rio e a potência inicialmente instalada seria de 93.000 kW;
3. que a sequência dos aproveitamentos hidroeléctricos a construir no Douro seguisse uma determinada ordem que mencionava, sujeita às modificações que quaisquer considerações eventuais viessem a mostrar ser vantajosas;
4. que a potência térmica actualmente existente fosse substituída tão rapidamente quanto possível

pela potência hidroeléctrica mais económica proveniente dos aproveitamentos do rio Douro;

5. que fosse, desde logo, montada uma moderna central térmica no Pejão, com a potência instalada de 25.000 kW;
6. que, ao serem construídas, as barragens do Carrapatelo, Régua e Valeira fossem equipadas com eclusas que permitissem a passagem de embarcações com 2,7m de calado, e que fosse efectuado o melhoramento das condições de navegabilidade do rio, até àquela profundidade, entre o Pocinho e a Foz, se o comércio fluvial nessa altura viesse a ser suficiente para justificar tais medidas.

Escusado será sublinhar a importância e o impacto destas recomendações. Na prática, estava posto em causa quase tudo quanto a Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos tinha apontado, e se preparava para executar, quanto aos trabalhos a desenvolver em termos de aproveitamento do Douro. Em vez do Douro nacional e do escalão do Carrapatelo, deveria, afinal, começar-se pelo Douro internacional, com o escalão de Picote.

Finalmente, o Relatório Geral foi entregue nos primeiros dias de Abril de 1953. O texto confirmava as conclusões inscritas no relatório prévio, documentando-as, desta feita, mais pormenorizadamente e focando outros aspectos menos importantes do aproveitamento económico da bacia do Douro.

Foi então que, em Junho de 1953, se procedeu à aprovação oficial da obra do Picote, cujo projecto (que constituía a última fase do estudo americano) podia então ter início.

Feita referência ao estudo de 1948 da Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos e ressaltando a sua utilidade e importância, sem maiores explicações diz-se apenas: Em 1951 o Governo encarregou a firma americana Knappen-Tippetts-Abbet-McCarthy (hoje designada por T.A.M.S.) da elaboração dum estudo sobre o Douro e os seus afluentes em Portugal. Como conclusão fundamental desse estudo, apresentado em 1953, foi dada prioridade à realização dos aproveitamentos do Douro Internacional sobre os do Douro Nacional, e escolhido para execução imediata o escalão de Picote.

Seja como for, em 1953 foi constituída a Hidro-Eléctrica do Douro a quem foi outorgada a concessão dos aproveitamentos do Douro e entregue a missão de complementar o estudo do plano geral de aproveitamentos hidráulicos do rio e seus afluentes. Em 1954 tiveram início as obras de construção do Picote, que começou a produzir em 1958. Ao aproveitamento do Picote sucederam-se no tempo Miranda (1960) e Bemposta (1964), ambos no Douro internacional. Finalmente, só em 1971 entrou em funcionamento o Carrapatelo, que ficou a constituir o primeiro aproveitamento hidroeléctrico do Douro Nacional.»

2 - Refira-se que o prazo da concessão contratada entre o Estado e a Companhia de Águas de Lisboa terminava

em 30 de Outubro de 1974. Por outro lado o Decreto-Lei n.º 668/73 de 17 de Dezembro tinha já determinado a reversão quando cessasse o regime de concessão e a transferência para uma “empresa pública” a criar visando o abastecimento na região de Lisboa daquele serviço público, e tinha incumbido a Comissão de Fiscalização das Águas de Lisboa de acompanhar a gestão do serviço público no último ano da concessão. Caso esta empresa não estivesse constituída, previu aquele Decreto-Lei que a Comissão de Fiscalização das Águas de Lisboa assumiria temporariamente as suas atribuições.

A resolução do Conselho de Ministros viria a suscitar uma forte contestação por parte dos accionistas da empresa no respeitante ao “congelamento do Fundo de Reconstituição de Capital da Companhia das Águas de Lisboa decretado pelo Governo até à realização de um inquérito à real remuneração de capital, de forma a permitir um juízo de equidade social quanto a este último aspecto e habilitar o Governo a uma decisão definitiva quanto ao destino a dar ao Fundo de Reconstituição de Capital”.

3 - Nesta Conferência, o engenheiro Pedro Nunes aborda a dificuldade e a demora em passar à prática as ideias sobre regionalização plasmadas na Constituição Portuguesa, sublinhando a distinção entre dois conceitos, o da *desconcentração* de competências — delegação dos poderes da administração central em órgãos periféricos mantidos sob a sua tutela — e o da *descentralização* de competências, em que se estabelecem novas formas de administração regional, com atribuições próprias, independentes da administração central, para concluir: «Estamos perante este quadro claramente antitético:

- regionalização, implicando essencialmente descentralização;
- planeamento, implicando essencialmente desconcentração;
- estes dois imperativos estruturalmente imbricados pela correspondência entre regiões-plano e regiões administrativas.

Seguidamente define engenharia civil como «a actividade profissional que, no domínio do aproveitamento dos recursos naturais para melhoramento da qualidade de vida da humanidade, explora directamente, e em termos não singelamente repetitivos, os conhecimentos proporcionados por estas três “ciências aplicadas”, que constituem as disciplinas essenciais da formação escolar do engenheiro civil: a resistência de materiais, a hidráulica e a geotecnia.

Identifica assim os sistemas sectoriais de intervenção da engenharia civil mais típicos:

- o sistema hídrico;
- o sistema urbano;
- o sistema de transportes;
- o sistema do planeamento físico, a todos os níveis (nacional, regional e local).

Analisa seguidamente o problema da delimitação das regiões para concluir:

«... Acresce à justificação para uma forte influência da rede hidrográfica na delimitação das regiões a consideração de que, constituindo as divisórias das bacias hidrográficas acidentes orográficos de transposição normalmente difícil pelas infra-estruturas longas (estradas, caminhos de ferro, canais), a adopção dessas divisórias como linhas de fronteira regional proporcionará uma optimização — no sentido da minimização — das alternativas para a conexão de inter-regiões do planeamento físico...»

Reconhece todavia: «... que será difícil o critério hidrográfico resistir à força dum argumento socio-político que creio correcto: a necessidade de evitar a criação de regiões abrangendo simultaneamente uma zona litoral e outra interior, em que o crescimento económico e populacional da primeira asfixie as possibilidades de desenvolvimento da segunda.»

Explana seguidamente algumas reflexões sobre as repercussões que a regionalização deve ter na formação escolar do engenheiro civil, apontando para um domínio em que a formação básica do engenheiro civil deve ser revista: «... a intensificação das actividades de planeamento e a frequente participação nelas de engenheiros civis tornam indispensável uma garantia de idoneidade destes na abordagem dos problemas sociológicos (...) reclamo dos novos engenheiros civis uma boa preparação humanística. Inibo-me de falar em preparação filosófica — mas é provavelmente o que quero insinuar. Será uma experiência de democracia.»

Refere ainda: «... dois subsistemas urbanos (cuja gestão será predominantemente assegurada a nível concelhio), o do saneamento básico e o dos transportes locais, se imbricam com dois outros sistemas, respectivamente o dos recursos hídricos e o sistema global de transportes, alertando para um outro campo de conexão entre a gestão do sistema urbano e o sistema hídrico (alterações da permeabilidade dos terrenos induzidas nas condições do processamento do ciclo hidrológico, pela implantação de equipamento urbano e as de precaridade desta mesma implantação quando feita em leitos maiores de rios ou ribeiras», alertando que «haverá que contar com resistências à descentralização até ao nível municipal».

Sublinha que estas conexões poderão justificar a possibilidade de criação de associações e federações inter-municípios, exemplificando «o caso do abastecimento de água a Lisboa cuja dimensão justifica vir a pôr sob a alçada duma administração regional»

Abordando o sistema hídrico interior, considera que «estará tipicamente votado a uma regionalização ostensiva, no sentido de que pelas regiões-autarquias deverá ser assumida grande parte das responsabilidades de decisão na gestão dos recursos hídricos. Tece ainda considerações sobre o sub-sistema de pequenos aproveitamentos, considerando que a descentralização do projecto e construção destes pequenos aproveitamentos será levada a cabo a nível municipal,

ainda que a respectiva exploração deva integrar-se na rede nacional, e o sub-sistema hidroeléctrico, submetido à gestão, necessariamente centralizada, da rede eléctrica nacional.

Sugere que para o estudo e projecto das grandes estruturas de engenharia deve prever-se o “apoio” num organismo único, com âmbito nacional.

Refere seguidamente que a gestão do sub-sistema portuário, significa para o engenheiro civil a conservação da costa nos aspectos fisiográfico e de qualidade das águas, exigindo o primeiro aspecto um forte investimento em estudos, pelo que deve ser mantido numa orgânica de nível nacional, enquanto o segundo aspecto, pela sua conexão com a gestão das águas interiores, deve ser integrado na orgânica regionalizada. Conclui que as águas costeiras devem ser vistas em todo mundo como uma reserva de recursos naturais — minerais, biológicos e energéticos — essencial para a sobrevivência humana, pelo que em fase de estudos a sua gestão deve situar-se nos próximos decénios a nível nacional.

Finalmente aborda o sistema de transportes, concluindo que «a engenharia civil, servindo em diversos sectores, viverá em diversos regimes: descentralização “equilibrada” nas rodovias, mas não indo abaixo das regiões nos caminhos de ferro e na aviação civil.»

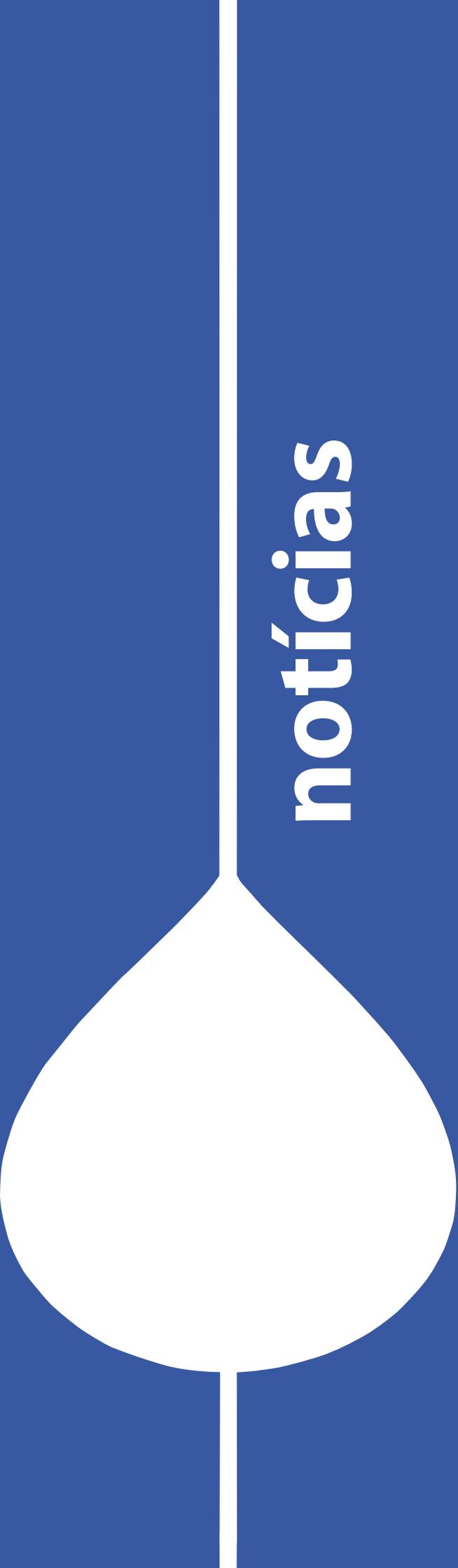
Sublinha que o sub-sistema portuário constitui «um verdadeiro nó de articulação entre o sub-sistema de transportes marítimos e o dos transportes terrestres, exigindo uma distinção entre os portos de hinterland nacional e de hinterland regional.

Foca depois o sistema de planeamento que considera como «um regulador da descentralização e um indicador das intenções — boas ou más — do poder central a respeito do desenvolvimento económico e social da população portuguesa», sublinhando: «uma orgânica mais ou menos ecléctica na sua interdisciplinaridade, mais ou menos implantada fora de Lisboa, mais ou menos entrosada com as orgânicas autárquicas, mais ou menos eficaz no exercício de uma função essencialmente pedagógica, determinará a sua utilidade».

E conclui acerca dos efeitos da regionalização na profissão de engenharia civil:

«Com o seu carácter de contribuição imediata para a satisfação dos direitos fundamentais da população portuguesa - a habitação, a saúde, a cultura, a mobilidade ... - ela passará a ser exercida numa convivência mais extensa e mais próxima com as realidades, de toda a natureza, do País. Por outro lado, ela integrar-se-á em tarefas sistematicamente condicionadas a uma integração técnico-científica multidisciplinar.

*A chave do sucesso do engenheiro civil será a correcção das noções que tenha acerca daquilo que não sabe. A sua glória será a sua modéstia.»*



**notícias**



---

## Centro de excelência da água e saneamento

---

Portugal e a Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa assinaram um memorando de entendimento para instalação no País do Centro de Excelência da Água e Saneamento.

O memorando foi assinado pelo Secretário de Estado do Ambiente, Carlos Martins, e pelo Secretário Executivo da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (CENUE), Christian Friis Bach.

Este Centro Internacional visa estabelecer e desenvolver cooperação, promovendo as iniciativas de parcerias público-privadas da CENUE e, em particular, as normas internacionais destas parcerias desenvolvidas pelo Centro Internacional de Excelência de parcerias público-privadas da CENUE, como ferramentas para o desenvolvimento social e económico e um meio para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

A assinatura deste acordo vai apoiar o desenvolvimento do Programa PPP Pessoas-Primeiro da CENUE e as suas equipas de projeto internacionais que desenvolvem normas para PPP no sector da água e do saneamento e, através da identificação das melhores práticas internacionais, prestar assistência aos países de rendimento baixo e médio que considerem este programa como uma solução viável para os serviços de abastecimento de água e saneamento.

A fase inicial da instalação do centro passa pela criação e formalização de uma rede capaz de produzir conhecimento na área, juntando universidades, politécnicos, centros de investigação, empresas públicas e internacionais e organizações internacionais do sector.

“Vamos empenhar-nos fortemente para começar a trabalhar e criar uma equipa que possa fazer essas pontes que agora são necessárias para criar a rede do ponto de vista formal, mas teríamos muito desejo que em 2018, logo desde o início, sejamos capazes poder dar resposta a qualquer solicitação que venha dos países das Nações Unidas ou dos bancos que financiam projetos”, disse o secretário de Estado do Ambiente.

O centro, que ficará sediado no LNEC, “terá uma

estrutura minimalista, uma vez que será muito flexível àquilo que for a procura de aconselhamento por parte dos países” e “não tem um valor de custos de operação ainda definido”, que será maior ou menor consoante o sucesso” da sua acção, referiu Carlos Martins.

“Não há compromissos financeiros nem das Nações Unidas nem de Portugal, mas não podemos esquecer que este sector para cumprir os objectivos do Milénio vai ser altamente financiado pelo Banco Mundial, pelo Banco Europeu de Investimento, pelo Banco Africano de Desenvolvimento, e outros que financiam habitualmente estas políticas públicas sectoriais, e será seguramente no âmbito desses projectos promovidos por essas instituições financeiras que irão alavancar aquilo que será o financiamento em velocidade cruzeiro deste centro”, acrescentou.

As alterações climáticas serão uma área de trabalho prioritária, disse o secretário de Estado do Ambiente, que sublinhou que vão trazer “com certeza grandes alterações na distribuição do recurso água a nível do planeta”.

O secretário de Estado disse que há áreas de intervenção em que o centro está “muito apostado”, como a da “formação e capacitação técnica”, a organização de eventos, “de carácter bianual” e que permitam trazer a Portugal “os melhores especialistas nas áreas que na altura forem críticas no domínio da água e saneamento” com o objectivo que saiam do país “as linhas estratégicas principais para as políticas mundiais no sector”.

Fonte (Ministério do Ambiente e Lusa).

---

## Portugal neutro em carbono em 2050

---

O Ministro do Ambiente, na abertura da cerimónia de comemoração dos 10 anos da parceria internacional de acção para o mercado de carbono, afirmou que Portugal tem como objectivo ser um país neutro em carbono até 2050

A ICAP (Internacional Carbon Action Partnership) constituída durante a Presidência Portuguesa do Conselho da União Europeia é um fórum de trocas de experiências nestas matérias.

“Os fundadores do ICAP estavam bem cientes dos controlos importantes das emissões que requeriam soluções como os mercados de carbono”, assim como da complexidade e da dificuldade de colocar em prática e que o ponto fundamental era a “troca de experiência” entre as partes”. «Para esta muito exigente tarefa, é necessária a vontade de toda a sociedade, das parcerias estabelecidas com a União Europeia e com os seus membros, mas também com outras jurisdições», sublinhou o Ministro.

Nesta sessão, entrevistaram representantes governamentais da Alemanha, Japão, México, Ucrânia, Califórnia (Estados Unidos), Nova Iorque (Estados Unidos).

Ao longo do dia decorrem discussões, por exemplo, sobre a cooperação internacional do mercado de carbono, a negociação de emissões e as estratégias climáticas a longo prazo.

O mercado de carbono é um instrumento com perspectiva comercial e ecológica, desenvolvido como uma forma de incentivo para o cumprimento das regras de redução de emissão dos chamados gases de efeito estufa, estabelecidas pelo Protocolo de Quioto.

Fonte (Ministério do Ambiente)

---

## Comissão Permanente da Seca 2017

---

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2017, de 7 junho - Criou a Comissão Permanente de Prevenção, Monitorização e Acompanhamento dos Efeitos da Seca e o Grupo de Trabalho

Este diploma criou também um Grupo de Trabalho com o objetivo de assessorar tecnicamente a Comissão, que tem, de entre outras, a função de:

“Produzir relatórios mensais de monitorização dos fatores meteorológicos e humidade do solo, das actividades agrícolas e dos recursos hídricos, cuja periodicidade deve ser intensificada quando seja detetada uma situação de anomalia ou declarada uma situação de seca, sendo que nestas situações os relatórios passam também a incluir as estimativas de consumo ou utilização pelas principais atividades, nomeadamente o abastecimento público, a agricultura, a produção de energia e indústria com maiores consumos de água”

Na sequência da primeira reunião da Comissão Permanente da Seca realizada a 19 de julho de 2017, foi aprovado o Plano de Prevenção, Monitorização e Acompanhamento dos Efeitos da Seca e o conjunto das medidas de prevenção, de regulação, de mitigação e de apoio.

O Plano está estruturado em três eixos de atuação — Prevenção, Monitorização e Contingência -, integrando no seu conteúdo a determinação de limiares de alerta, a definição de metodologias para avaliação do impacto dos efeitos de uma seca, a conceção de manuais de procedimentos para padronização da atuação, a disponibilização de planos de contingência e a preparação prévia de medidas para mitigação dos efeitos da seca.

O Plano de Prevenção, Monitorização e Contingência para Situações de Seca - Despacho n.º 6399/2017, de 24 julho - Reconhece a existência de uma situação de seca severa (agrometeorológica) no território continental, desde o dia 30 de junho de 2017, que consubstancia um fenómeno climático adverso, com repercussões negativas na atividade agrícola. Os relatórios mensais compilam os parâmetros acompanhados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P. (IPMA), pelo Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (GPP), em ligação com as Direções Regionais de Agricultura e Pescas (DRAP) e com Instituto Nacional de Estatística (INE), pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e pela Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural e encontram-se disponíveis em [www.gpp.pt/relatorios](http://www.gpp.pt/relatorios).

Fonte: [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt) e [www.gpp.pt](http://www.gpp.pt)

# NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS

Os autores interessados em publicar artigos científico-técnicos ou discussões de artigos anteriormente publicados na revista Recursos Hídricos deverão respeitar as seguintes normas:

1. O artigo, necessariamente original e preferencialmente redigido em Português, na forma impessoal, tem de ser entregue em suporte informático. O processador de texto a utilizar deverá ser o Word (Microsoft). São também aceites artigos redigidos em Inglês.
2. O título, o nome do(s) autor(es) e o texto do artigo (incluindo quadros e figuras) devem ser compostos e guardados num ficheiro único, devidamente identificado (por exemplo, artigo.doc). Tal ficheiro tem de conter a indicação, de forma clara, das zonas onde se pretendem inserir as figuras, desenhos ou fotografias. O texto do artigo deve ser corrido a uma coluna, com espaçamento normal e com a extensão máxima de quarenta mil caracteres (incluindo espaços).
3. O título do artigo tem de ser redigido em Português e em Inglês.
4. A seguir ao título deve ser indicado o nome do(s) autor(es) e um máximo de três referências aos seus graus académicos ou cargos profissionais, assim como o número de associado, caso seja membro da APRH.
5. O corpo do artigo tem de ser antecedido do resumo, redigido em Português e em Inglês (abstract). O resumo em qualquer um dos anteriores idiomas não deve exceder dois mil e quinhentos caracteres (incluindo espaços).
6. Os elementos gráficos (figuras, desenhos e fotografias) têm também de ser fornecidos separadamente em suporte informático, num único ficheiro ou em ficheiros individuais, mas sempre devidamente identificados (por exemplo, Figuras.doc, Figura1.jpg, etc.). Não existe qualquer restrição quanto à utilização de cor naqueles elementos.
7. As referências bibliográficas no corpo do texto devem ser feitas de acordo com a norma portuguesa NP-405 de 1996, indicando o nome do autor (sem iniciais) seguido do ano de publicação entre parêntesis. No caso de mais de uma referência relativa ao mesmo autor e ao mesmo ano, devem ser usados sufixos a), b), etc.
8. Os artigos devem terminar por uma lista de referências bibliográficas organizada por ordem alfabética do nome (apelido) do primeiro autor, seguido dos nomes dos outros autores, caso os haja, do título da obra, editor, local e ano de publicação (ou referência completa da revista em que foi publicada). De tal lista só podem constar as referências bibliográficas efectivamente citadas no corpo do texto.
9. Só serão aceites discussões de artigos publicados até dois meses após a publicação do número da revista onde esse artigo se insere. As discussões serão enviadas ao autor do artigo, o qual poderá responder sob a forma de réplica. Discussões e réplica, caso exista, serão, tanto quanto possível, publicados conjuntamente.
10. O título das discussões e da réplica por elas originada é o mesmo do artigo original acrescido da indicação Discussão ou Réplica. Seguidamente, deve constar o nome do autor da discussão ou da réplica de acordo com o indicado no ponto 4.
11. À publicação de discussões e de réplicas aplicam-se as normas antes explicitadas para a publicação de artigos
12. Os artigos e as discussões devem ser enviados por correio electrónico para o endereço da APRH (aprh@aprh.pt). O assunto desse correio electrónico deve elucidar sobre o respectivo conteúdo (por exemplo, submissão de artigo ou discussão de artigo). No corpo do correio, o autor ou os autores têm ainda de sugerir três revisores que considerem adequados, face ao teor científico técnico e ao idioma do respectivo artigo.

Secretariado da APRH  
A/c LNEC – Av. do Brasil, 101  
1700-066 Lisboa  
Portugal

