

QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA DE ÓBIDOS: QUE FUTURO?

Madalena M. SANTOS(1); Ramiro J. NEVES(1); Paulo C. LEITÃO(2), Patrícia PEREIRA (3), Hilda PABLO (3), , Luís D. FERNANDES (1); Sandra M. CARVALHO(4); Cátia P. ALVES(4)

RESUMO

Nesta comunicação discute-se o estado da qualidade da água da Lagoa de Óbidos, antes e depois da entrada em funcionamento do emissário submarino da Foz do Arelho, que recebe o efluente tratado da ETAR de Caldas da Rainha, Óbidos, Carregal, Charneca, e Foz do Arelho. O destino final do efluente é feito actualmente no mar, a 30 m de profundidade e a cerca de 2 km da praia da Foz do Arelho. Nas zonas de montante criam-se condições para o desenvolvimento de florescências algais (Blooms), devido ao menor hidrodinamismo que caracteriza estas zonas e aos elevados tempos de residência. O sistema de modelação desenvolvido para a zona costeira onde descarrega actualmente o emissário submarino da Foz do Arelho, baseia-se num modelo hidrodinâmico (3D-H) que acoplado a um modelo de transporte Lagrangiano, permite a simulação da pluma microbiológica (*Bactérias Coliformes Termotolerantes*) do emissário. Este sistema foi usado como ferramenta de gestão para simular diferentes cenários de vento, analisando o impacto na praia da Foz do Arelho.

PALAVRAS CHAVE

Lagoa de Óbidos, qualidade da água, monitorização, modelação, águas residuais, emissário submarino da Foz do Arelho

¹Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal. madalena.maretec@ist.utl.pt, ramiro.neves@ist.utl.pt

²Hidromod Lda., Av. Manuel da Maia, N°36 3ºEsq. 1000-201 Lisboa, Portugal. paulo.chambel@hidromod.com

³Dep. Aquatic Environment INIAP/IPIMAR, Av. Brasília 1449-006 Lisboa, Portugal. patbio@ipimar.pt, h.pablo@ipimar.pt

⁴Águas do Oeste, S.A., Águas de Portugal SGPS, S.A., Convento de S. Miguel das Gaeiras 2510-718 Gaeiras, Portugal. s.carvalho@aguasdoeste.com, c.alves@aguasdoeste.com

1 INTRODUÇÃO

Nesta comunicação descreve-se o estado da qualidade da água na Lagoa de Óbidos e as pressões a que está sujeita e analisa a evolução esperada com base i) na redução das pressões - especialmente decorrente da remoção de cargas de origem doméstica e industrial - e ii) no conhecimento dos processos que ocorrem no interior da Lagoa.

A redução das cargas resulta da construção do Sistema de Saneamento que descarrega no mar, através do emissário submarino da Foz do Arelho os efluentes de 5 ETAR's que servem cerca de 90% da população da bacia de drenagem da Lagoa de Óbidos.

O estado da qualidade da água e o conhecimento dos processos que o determinam são objecto do programa de monitorização da Lagoa promovido pela empresa Águas do Oeste e levado a cabo pelo Instituto Superior Técnico (IST) e pelo Instituto de Investigação das Pescas e do Mar (IPIMAR), instituições que beneficiam da participação em estudos anteriores na Lagoa de Óbidos e noutros sistemas com problemas semelhantes.

Os principais problemas de qualidade da água na Lagoa resultam do processo de eutrofização na cabeceira desta e conseqüente produção de grandes quantidades de macroalgas (algas de grandes dimensões), acumulação de matéria orgânica no fundo e elevado consumo de oxigénio.

Os esgotos de origem urbana foram uma fonte importante de nutrientes, que até à construção do actual sistema de saneamento foi uma das causas da má qualidade da água naquela região da Lagoa.

A retenção da contaminação na zona da cabeceira da Lagoa é uma consequência da sua hidrodinâmica, que gera velocidades muito elevadas junto à embocadura – responsável pela dinâmica sedimentar intensa naquela região – mas velocidades muito baixas na cabeceira, com tempos de residência elevados e por isso com taxas de sedimentação de partículas finas – ricas em matéria orgânica – elevadas.

A remoção dos efluentes de origem urbana e o seu lançamento no mar através do emissário submarino implicou uma redução de carga de nutrientes, da qual seria de esperar melhorias em termos de qualidade da água. Em termos tróficos a melhoria vai ser lenta como resultado da acumulação de matéria orgânica no fundo.

2 MORFOLOGIA E HIDRODINÂMICA

A Lagoa de Óbidos (Figura 1) é uma laguna costeira pouco profunda, com 7 km² de superfície e com 1,8 km de largura e 4.5 km de comprimento máximo. A profundidade média é cerca de 2 m – e a profundidade máxima é de 5 m, no canal norte. Na zona central da Lagoa, entre os canais norte e sul existe um extenso banco de sedimentos arenosos que divide a Lagoa em dois grandes corpos, com massas de água com características e dinâmicas muito diferentes.

Na zona de montante a Lagoa tem dois braços: Braço da Barrosa na margem Norte e Bom Sucesso na Margem Sul, entre os quais desaguam os rios Arnóia e Real, que representam cerca de 90% das afluências de água doce e são a principal fonte de sedimentos cuja deposição originou um extenso sapal. O Rio da Cal desagua no braço da Barrosa e a Vala do Ameal, no braço do Bom Sucesso.

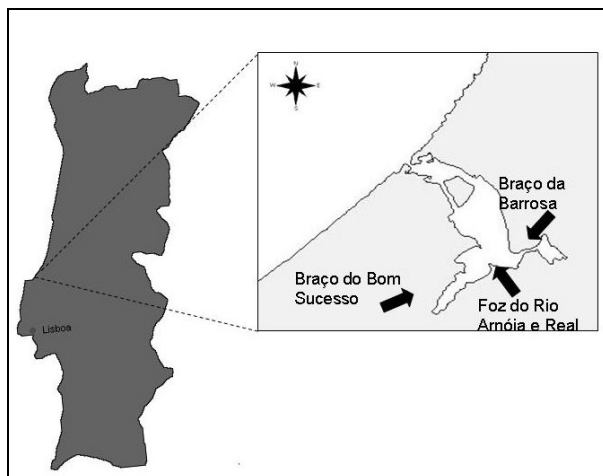


Figura 1. Lagoa de Óbidos.

A hidrodinâmica da Lagoa é determinada, essencialmente, pela maré e pelo regime de agitação marítima na zona da embocadura, que intensifica a dinâmica sedimentar, e pode fazer subir os níveis no interior da Lagoa da ordem dos 0.5 m quando a altura significativa das ondas é da ordem dos 3 m.

Na metade mais próxima do mar (metade de jusante), os sedimentos são essencialmente areias de origem marinha, evoluindo para vasa arenosa e finalmente para lodo à medida que progredimos para perto das cabeceiras da Lagoa, como consequência da localização das fontes de materiais finos e da hidrodinâmica.

Para perceber a hidrodinâmica da Lagoa de Óbidos foi aplicado o modelo MOHID, desenvolvido no IST/MARETEC (MOHID, 2003). A Figura 2 mostra o escoamento de enchente em maré viva para a Lagoa de Óbidos, na embocadura (2a) e nas cabeceiras (2b).

Na metade mais próxima do mar, a velocidade é máxima com valores na ordem de 2 m/s na embocadura e um escoamento preferencial pelo canal norte, com velocidades da ordem de 1m/s.

Nas cabeceiras da Lagoa, as velocidades são muito menores, especialmente no Braço da Barrosa (onde desagua o rio da Cal) e Bom Sucesso e na zona da foz dos rios Arnóia e Real. O menor hidrodinamismo desta região cria condições preferenciais de deposição da matéria particulada fina, rica em matéria orgânica, a qual tem papel determinante nos processos tróficos da Lagoa.

A Figura 3 apresenta a distribuição de velocidades em vazante para a mesma situação de maré das figuras apresentadas anteriormente. A figura mostra que as velocidades de vazante são menores do que as velocidades de enchente no canal norte, mas são máximas na zona da barra.

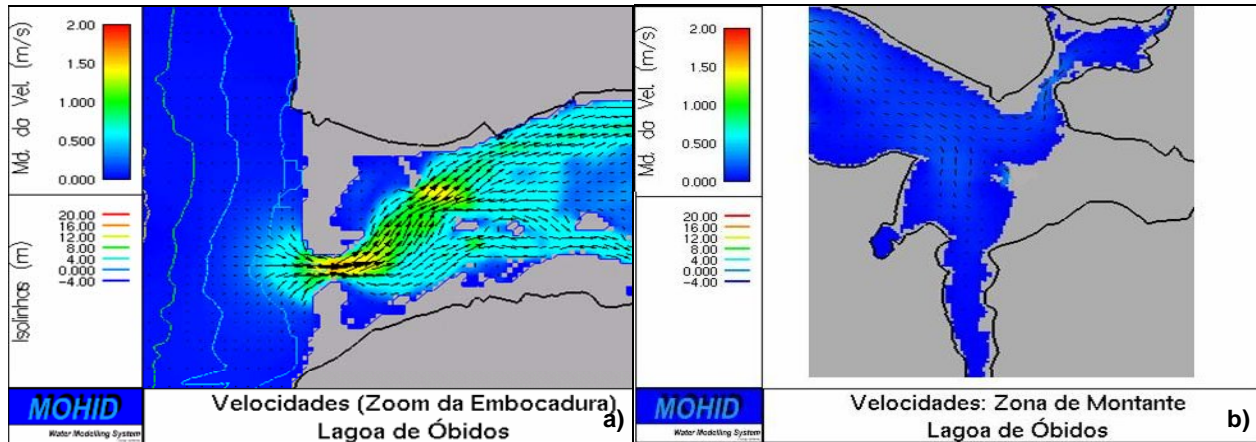


Figura 2. Campo de velocidades na Lagoa de Óbidos em situação de enchente durante a maré-viva. (a) embocadura da Lagoa (jusante), (b) cabeceiras da Lagoa (montante).

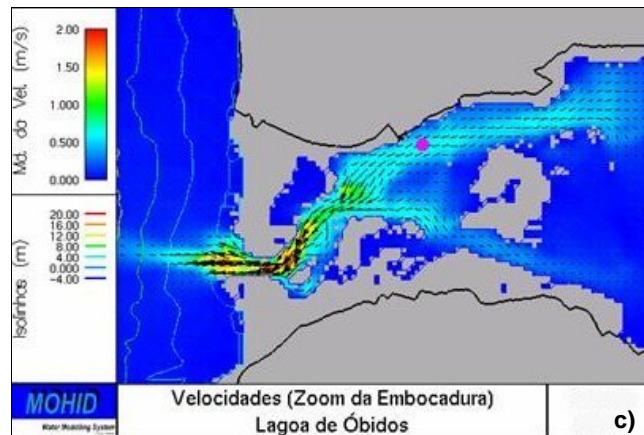


Figura 3: Campo de velocidades na Lagoa de Óbidos em situação de vazante no mesmo dia da representada na Figura 2.

A Figura 4a mostra a evolução da velocidade medida e calculada no braço norte, no ponto indicado pelo círculo rosa na Figura 3, e a Figura 4b mostra os níveis no mesmo ponto. As figuras mostram que a enchente é mais curta do que a vazante. Nestas condições criam-se maiores velocidades durante a enchente, e que explicam o facto de os sedimentos serem transportados para o interior da Lagoa no canal norte. A maior velocidade de vazante na barra tende a transportar os sedimentos para o exterior da Lagoa.

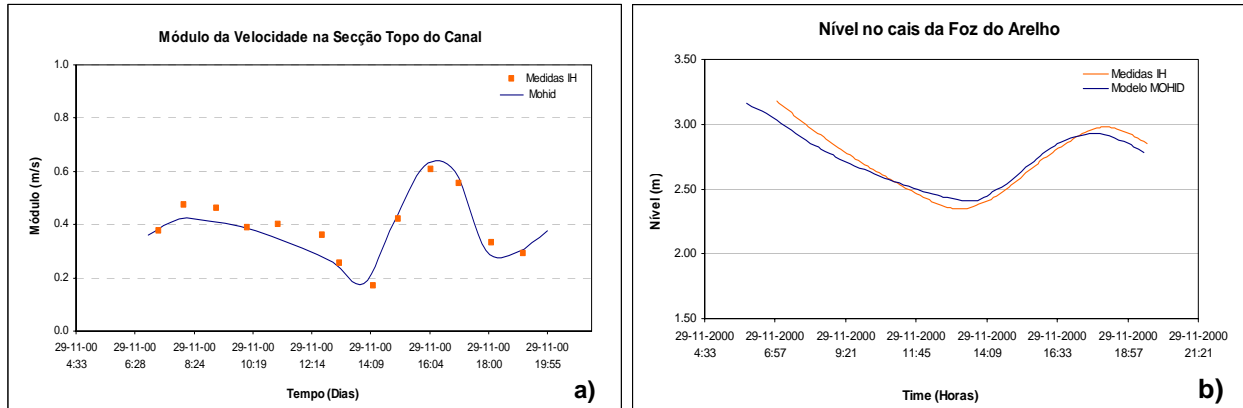


Figura 4: a) Evolução temporal da velocidade num ponto na zona do canal norte da Lagoa, que mostra que a enchente tem velocidades superiores as de vazante. b) Evolução temporal de níveis num ponto do interior da Lagoa, que mostra que a enchente é muito mais curta do que a vazante.

A Figura 5 mostra o caudal residual respectivamente na embocadura da Lagoa (a) e nas cabeceiras (b). A Figura 5a mostra um escoamento intenso no canal norte dirigido para fora da Lagoa e escoamentos menos intensos dirigidos para o interior da Lagoa, formando uma série de vórtices. Estes vórtices mostram que a água do mar recircula de forma intensa na metade de jusante da Lagoa e que a água da metade de montante (cabeceiras) sai para o mar preferencialmente através do canal norte. Na metade montante da Lagoa (Figura 5b), o escoamento residual é pouco intenso e dominado por um vórtice de grandes dimensões que ocupa toda a largura da Lagoa. Como consequência o tempo de residência nesta zona da Lagoa é grande, o que associado às baixas velocidades do escoamento de maré cria condições para deposição da matéria orgânica particulada, cuja mineralização produz nutrientes que, adicionados aos provenientes de terra, cria condições privilegiadas para a existência de níveis tróficos elevados. O volume da Lagoa em maré vazia é de 8×10^6 e o prisma de maré 6×10^6 m³ em maré morta e de 10×10^6 m³ em maré viva, correspondendo as afluições de água doce a cerca de 1% deste valor no Inverno e 1‰ no Verão. Como consequência do baixo contributo dos rios para o prisma de maré, a salinidade da Lagoa é elevada (normalmente acima de 34 ‰).

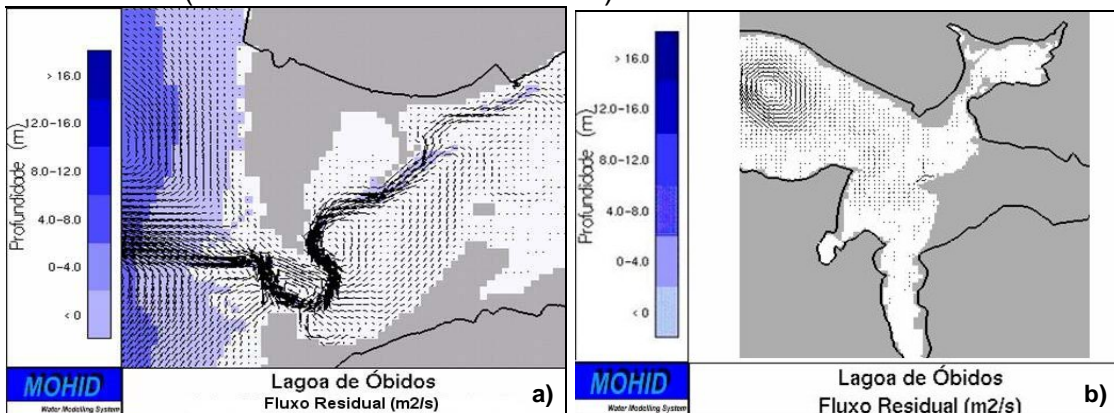


Figura 5. Caudal residual na embocadura da Lagoa de Óbidos (a) e nas cabeceiras (b).

3 TEMPOS DE RESIDÊNCIA NO INTERIOR DA LAGOA

O tempo de residência ou tempo de renovação de um corpo de água define-se como o tempo necessário para que essa massa de água seja renovada (EPA, 2001). Esse tempo é também o tempo necessário para que um contaminante saia da Lagoa, para o mar. A determinação do tempo de residência requer o uso de um traçador, que em estuários é normalmente a salinidade. Nesse caso o tempo de residência mede o tempo necessário para que a água do rio atravessasse o estuário.

No caso da Lagoa de Óbidos a variação espacial da salinidade é demasiado pequena para permitir calcular o tempo de residência, sendo necessário recorrer ao modelo matemático. Utilizando o modelo usam-se traçadores colocados em diferentes regiões da Lagoa (caixas) e podendo-se calcular o tempo de residência do conjunto dos traçadores e dos traçadores de cada uma das caixas (Braunschweig *et al.*, 2003).

Para este cálculo, consideraram-se as regiões indicadas na Figura 6 e definiu-se o tempo de residência numa caixa (ou na Lagoa) como sendo o tempo necessário para que 80% da água (que inicialmente se encontrava no seu interior) tenha sido renovada. A Figura 6 mostra o tempo de residência da água em cada uma das zonas da Lagoa. A parte mais próxima do mar tem um tempo de residência da ordem de 1 dia, a generalidade da Lagoa tem um tempo de residência inferior a 6 dias, sendo o tempo de residência máximo no Braço do Bom Sucesso, onde pode atingir as 4 semanas.

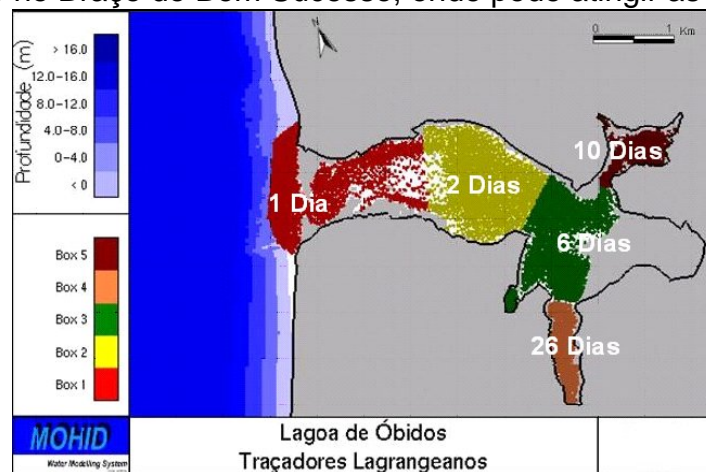


Figura 6. Tempos de Residência nas diferentes zonas da Lagoa de Óbidos.

Estes resultados, analisados em conjunto com a hidrodinâmica e com a qualidade da água mostram que o hidrodinamismo da Lagoa é um factor determinante para a recuperação da qualidade da água na Lagoa, condicionando a retenção de nutrientes e a disponibilidade de luz, (através dos processos de deposição e ressuspensão de sedimentos). Nestas condições é de esperar que o assoreamento da barra e alguns canais interiores na Lagoa, pode ser considerado como o pior cenário em termos de qualidade da água, porque a principal fonte de renovação de água no interior da Lagoa de Óbidos é a maré.

4 FONTES DE CONTAMINAÇÃO

A Bacia Hidrográfica da Lagoa de Óbidos, tem uma área total de 450 km², dos quais 90% são ocupados pela bacia dos rios Arnóia e Real. A bacia do Rio da Cal, tem cerca de 18 km², desagua no braço da Barrosa e drena a região das Caldas da Rainha. A vala do Ameal com cerca de 10 km² desagua no braço do Bom Sucesso (PISCO *et al*, 2003).

A qualidade da água na Lagoa depende das cargas geradas nestas bacias e dos processos que ocorrem no interior desta.

A Figura 7 mostra a localização das ETAR's na Bacia da Lagoa de Óbidos e no Quadro 2 são apresentadas as características de cada uma delas: população servida, caudais e tipo de tratamento.

As ETAR's indicadas com pontos laranja totalizam 92% do caudal e estão ligadas ao Emissário Submarino da Foz do Arelho. As representadas a verde descarregam nas linhas de água. A ETAR das Caldas da Rainha e a da Charneca geram 80% do caudal total e cerca de 90% do que é descarregado pelo emissário submarino, cuja construção é assim responsável pela remoção da Lagoa de cerca de 80% da carga de origem urbana e industrial.

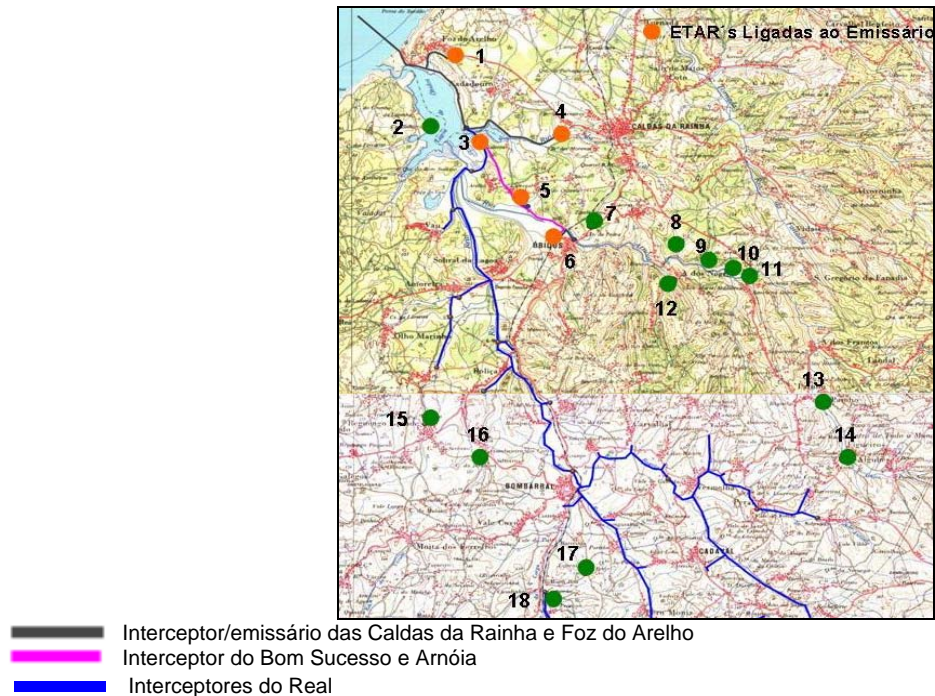


Figura 7: Localização das ETAR's. As indicadas a laranja estão ligadas ao Emissário da Foz do Arelho. As características de cada uma delas estão indicadas no Quadro 2.

O Quadro 2 mostra o número de animais existentes em explorações agrícolas, de acordo com o recenseamento agrícola de 1999, as cargas de Azoto e de Fósforo produzidas e o equivalente em habitantes. Cerca de metade da carga é devida a aves, sendo os suínos coelhos e bovinos responsáveis pela generalidade da carga restante. A pressão sobre as linhas de água depende do destino final dos estrumes, sendo

previsível que a maior pressão resulte da suinicultura. Efectivamente as aves e os coelhos produzem estrumes com menor teor de água e por isso com maior probabilidade de serem espalhados nos terrenos agrícolas.

Quadro 1. Especificações das ETAR's cuja localização é apresentada na Figura 7.

LA-lamasactivadas; LP-leitospercoladores; LAAC-lamas activadas de arejamento convencional; DES – desinfecção N-remoção de azoto, LAG- lagunagem; LAAP- lamas activadas de arejamento prolongado; LPAC- leitos percolados de alta carga.

ETAR	População servida (p.e.)			Caudal m ³ /dia	Tipo de Tratamento	
	Resid.	Flut.	Indúst./Outros			
1	Foz do Arelho	Dados incluídos na ETAR de Caldas da Rainha			LAAP+N+DES	
2	Casalinho	683	9800	0	1705	LAAP+N+DES
3	Caldas da Rainha	33108	7000	5083	8134	LAAC
4	Charneca	26679	3100	835	6322	LAAP
5	Carregal	1193		60	242	LAAP
6	Óbidos	3175		159	645	LPAC
7	Gaeiras	2104		210	433	LAAP
8	Casal dos Carmanais	150		20	26	LAAP
9	Casais da Areia	118		6	19	LAAP
10	Quinta do Carvalhedeo	125		6	20	LAAP
11	Sancheira	426		13	83	LAAP+N
12	A dos Negros	1043		32	204	LAAP+N
13	Painho	1233		37	241	LAAP+N
14	Figueiros/Algúber	1565		50	307	LAG+N
15	Reguengo Grande	1304		0	248	LAAP+N+DES
16	Azambuqueira dos Carros	409		44	78	LAAP+N
17	Estorninho	Anulada. Efectuada a ligação à ETAR da Charneca				
18	Casal Camarão	231		0	44	LAAP+N

Quadro 2. Cargas de Azoto e Fósforo produzidas em explorações agrícolas, calculadas a partir dos dados do Recenseamento Agrícola de 1999.

	Nº de animais	TonN/ano	TonP/ano	Equivalente em habitantes
caprinos	3270	63	11	13587
coelhos	37286	212	58	56639
equinos	250	6	1	1447
bovinos	4287	258	38	51201
suínos	38126	524	113	123708
aves	2386776	1478	373	378996
ovinos	4906	83	12	16529
Total		2624	607	642108

4.1 Cargas afluentes à Lagoa

As cargas afluentes à Lagoa são o resultado do uso e ocupação do solo e da gestão das fontes de contaminação. As fontes de contaminação de origem doméstica e industrial têm vindo a ser resolvidas com a construção de ETAR's e finalmente com a entrada em funcionamento do emissário submarino da Foz do Arelho, 80% do total da carga produzida é descarregada no mar, sendo os restantes 20% na bacia hidrográfica

após tratamento. As cargas são calculadas monitorizando caudais e concentrações nos rios. No caso da Lagoa de Óbidos existem as duas estações de monitorização do INAG que monitorizam o contributo de mais de 90% da área da bacia. Os dados de concentrações disponíveis no SNIRH (<http://snirh.inag.pt/>) para o nitrato, azoto amoniacal e fósforo total, desde 2002 a 2004, mostram que as concentrações de nitrato são mais elevadas no rio Arnóia e Real do que no rio da Cal. Por outro lado, as concentrações de amónia e fósforo medidas, são superiores no rio da Cal. Os valores medidos sugerem que a contaminação no Rio da Cal é sobretudo de origem urbana, apresentando valores muito elevados de amónia e de fósforo, enquanto que no Arnóia/Real a contaminação é sobretudo de origem agrícola, predominando a contaminação por nitrato. Os caudais foram estimados com base na chuva medida na estação de Óbidos (17C/07), admitindo que 1/3 da chuva origina caudal no rio, sendo os restantes 2/3 retidos e evapotranspirados. A partir dos dados de 2002 a 2004 disponíveis no SNIRH foram calculadas as cargas anuais apresentadas no Quadro 3. O Quadro 3 apresenta cargas anuais calculadas usando as concentrações e a descarga de água doce estimada a partir dos dados de chuva por não terem sido medidos caudais nas estações udométricas do INAG. Os valores apresentados na tabela sugerem que os rios Arnóia e Real são responsáveis por cerca de 85% das cargas de Azoto e Fósforo que chegam à Lagoa e que a agricultura e as actividades agropecuária são as principais fontes de nutrientes para a Lagoa, uma vez que as cargas urbanas se concentram na bacia do Rio da Cal.

Quadro 3. Cargas anuais determinadas para a bacia do rio Arnóia e Real e bacia do rio da Cal usando os valores medidos pelo INAG.

Cargas	Bacia dos Rios Arnóia e Real	Bacia do Rio da Cal
Azoto Amoniacal (tonN/ano)	95	59
Nitrato(tonN/ano)	250	1.5
Nitrito(tonN/ano)	12	0.2
Fosfato (tonN/ano)	50	9
Sólidos Suspensos Totais (ton/ano)	15500	407

5 QUALIDADE DA ÁGUA NA LAGOA

A qualidade da água na Lagoa é objectivo de um programa de monitorização promovido pela empresa Águas do Oeste, S.A. e tem sido objecto de muitos estudos ao longo das últimas duas décadas, promovidos especialmente pelo IPIMAR (CARVALHO *et al*, 2005). A análise das cargas contaminantes feitas no parágrafo anterior mostra que os rios Arnóia/Real são responsáveis pela principal carga de nutrientes e por isso a principal fonte externa de eutrofização. Até Agosto de 2005 o rio da Cal foi a principal fonte de contaminação por águas residuais urbanas descarregadas sobretudo pelas ETAR de Caldas da Rainha. A partir de Setembro de 2005 o efluente desta ETAR e da ETAR de Óbidos, Carregal, Charneca, Caldas da Rainha e Foz do Arelho, tem como destino final o mar, a 2 km da praia da Foz do Arelho. O nível de tratamento considerado para a descarga é o primário, uma vez que é o previsto na legislação de

acordo com o Decreto-Lei 152/97. Deve ser ainda respeitada a qualidade da água para águas de banho ou para recreio com contacto directo, indicada na Directiva 76/10/CEE e no Anexo do Decreto-Lei 74/90, porque o exutor submarino está instalado no extremo norte da praia da Foz do Arelho. O estudo da hidrodinâmica da Lagoa mostra que os processos de transporte e os tempos de residência nas metades de montante e de jusante da Lagoa são muito diferentes, sendo a taxa de sedimentação de materiais finos – ricos em matéria orgânica - e o tempo de residência elevados na zona das cabeceiras. Nestas condições é de esperar que a qualidade da água e dos sedimentos sejam muito diferentes nas zonas referidas anteriormente e que uma boa parte da actividade trófica na zona de montante seja devida à reciclagem de nutrientes acumulados no fundo ao longo de décadas. Com a entrada em funcionamento do emissário da Foz do Arelho a carga de origem urbana descarregada na Lagoa, foi reduzida para menos de 20%. Apesar da redução de carga, ainda não é visível a redução das concentrações no braço da Barrosa, porque para além das descargas das águas residuais, existem outras fontes nomeadamente a actividade agropecuária e ainda a regeneração de nutrientes na coluna de água.

5.1 Resultados do programa de monitorização

O programa de monitorização tem campanhas sazonais para medição de grandezas físico – químicas e biológicas (em 5 estações) relevantes para avaliar o estado da água e para interpretar os processos biogeoquímicos que o determinam, sendo ainda complementado por um modelo matemático usado como ferramenta de integração dos dados de campo e de teste de hipóteses. As grandezas biológicas são usadas na perspectiva da Directiva Quadro da Água para avaliar o estado ecológico do sistema. As comunidades macrozoobentónicas apontam para um padrão de distribuição geográfica, indicando uma maior perturbação na zona montante com baixa biodiversidade e presença de espécies oportunistas, como consequência do enriquecimento em matéria orgânica. Estas alterações são consequência da ocorrência, continuada, de descargas orgânicas no Braço da Barrosa e de nutrientes provenientes da bacia de drenagem do Arnóia/Real que resultaram na eutrofização das zonas de montante, identificável através de elevadas concentrações de nutrientes, nomeadamente em formas reduzidas (i.e. amónia, que pode atingir valores na ordem de 1.2 mgN/L como se pode verificar na Figura 8), e da proliferação de macroalgas – com predominância da *Ulva* sp. - que cobrem praticamente todo o substrato. A Figura 8 mostra resultados do programa de monitorização disponíveis até à data, obtidos na estação perto da embocadura (AO#1) e braço da Barrosa (AO#4), respectivamente. Os teores de amónia mostram um incremento das zonas mais próximas do mar para as zonas das cabeceiras, sendo os teores mais elevados registados no braço da Barrosa. Os valores continuam elevados mesmo após a entrada em funcionamento do emissário (cujo início foi em Setembro de 2005), indicando a presença de outras fontes externas de nutrientes (i.e. actividades agropecuárias) tal como se pode verificar através da identificação das principais fontes de contaminação. Por outro lado, além das fontes antropogénicas existe ainda a regeneração destes compostos nos sedimentos, que actuam assim como uma fonte interna de nutrientes.

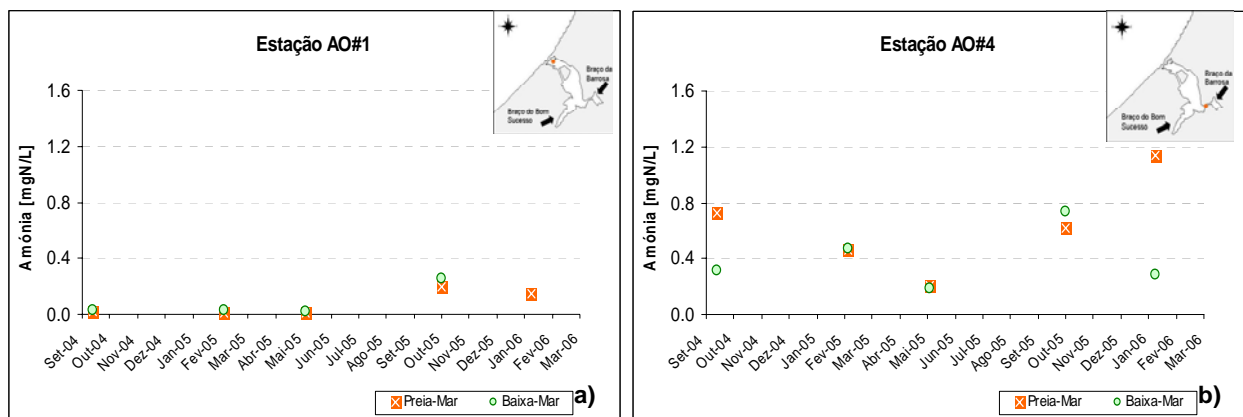


Figura 8. Concentrações de amónia, medidas na estação AO#1 situada perto da embocadura (a) e na AO#4 situada perto da descarga do Rio da Cal (b).

Os resultados obtidos para as *Bactérias Coliformes Termotolerantes* nas mesmas estações referidas anteriormente são apresentados na Figura 9. Em relação á contaminação fecal os resultados obtidos mostram que os valores na estação perto da praia da Foz do Arelho são inferiores aos máximos recomendáveis (VMR) pela legislação aplicada no caso das águas balneares (de acordo com o Anexo XV do DL 236/98). Na estação do braço da Barrosa os valores são superiores aos medidos na estação da embocadura, porque esta estação fica perto dos focos de poluição, sendo no entanto inferiores aos máximos admissíveis (VMA) aferidos pela mesma directiva.

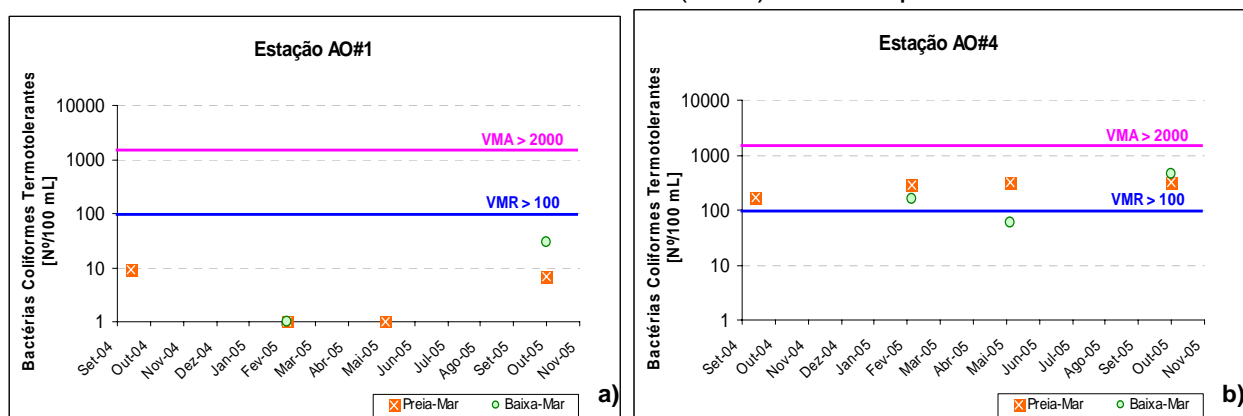


Figura 9. Concentrações de *Bactérias Coliformes Termotolerantes*, medidas na estação AO#1 situada perto da embocadura (a) e na estação AO#4 situada perto da descarga do Rio da Cal (b).

Face aos resultados apresentados, surgem algumas questões relevantes:

1. Este grau de eutrofização tem implicações para a saúde do ecossistema? Aparentemente sim, como se pode inferir da ampla flutuação dos níveis de oxigénio dissolvido e da concentração de alguns elementos na coluna de água ao longo de ciclos dia-noite. Os sedimentos funcionam como fontes internas para os ciclos biogeoquímicos;

2. Por quanto tempo é expectável esta eutrofização, após a remoção da descarga dos efluentes urbanos na Lagoa? Provavelmente manter-se-á por anos dada a quantidade de matéria orgânica armazenada nos sedimentos e a importância das macroalgas na retenção e reciclagem dos elementos nutritivos (i.e. azoto e fósforo) no interior dos braços da Lagoa;

3. Haverá soluções de remediação? Não sendo económica e ecologicamente justificável uma dragagem extensa dos Braços para remover os sedimentos enriquecidos em matéria orgânica, poderá ser equacionada uma solução de aumento progressivo das trocas de nutrientes com a parte restante da Lagoa. Esta solução deve, no entanto, ser planeada e monitorizada de forma a minimizar o impacte nas comunidades da zona central e jusante da Lagoa. Salienta-se, em particular, os moluscos bivalves que constituem um importante recurso pesqueiro da Lagoa e a qualidade das águas balneares que pode diminuir com o transporte de material de montante para jusante;

6 PLUMA DO EMISSÁRIO SUBMARINO DA FOZ DO ARELHO

Os dados oceanográficos adquiridos na zona costeira pelo IH (IH, 2001) mostram que as correntes na vizinhança da zona de estudo são predominantemente paralelas à costa, com uma velocidade de 20 a 25 cm/s à superfície dirigida para sul, como consequência do forçamento pelo vento dominante que é predominante do quadrante Norte. As correntes de maré têm carácter alternado e intensidades da ordem dos 5 cm/s e as correntes de densidade são dirigidas para norte, com intensidades semelhantes.

Nestas condições, durante o verão o escoamento é predominantemente para sul, enquanto que durante o Inverno o escoamento mais provável é para norte, com intensidade que depende essencialmente da intensidade do vento.

O regime de ventos determina o deslocamento da pluma, mas também determina o papel dos nutrientes existentes nas camadas mais profundas do oceano. Os ventos de Norte induzem ressurgência de água profunda (vulgo, *upwelling*) originando a ascensão de águas profundas, mais frias e ricas em nutrientes, que determina a produção primária ao longo da Costa Portuguesa.

A Figura 10 mostra distribuições espaciais de temperatura superficial (a) e de clorofila *a* (b) medidas pelo satélite MODIS do dia 31 de Maio de 2005 às 13h44 e ilustra a correlação entre ressurgência de água profunda (mais fria) e produção primária. Os ventos apresentados na Figura 10c mostram que nos últimos 15 dias de Maio o vento foi predominantemente de Norte, induzindo a fortes episódios de *upwelling*, tal como é possível verificar através da imagem de clorofila *a*, onde é visível um enorme filamento junto à costa.

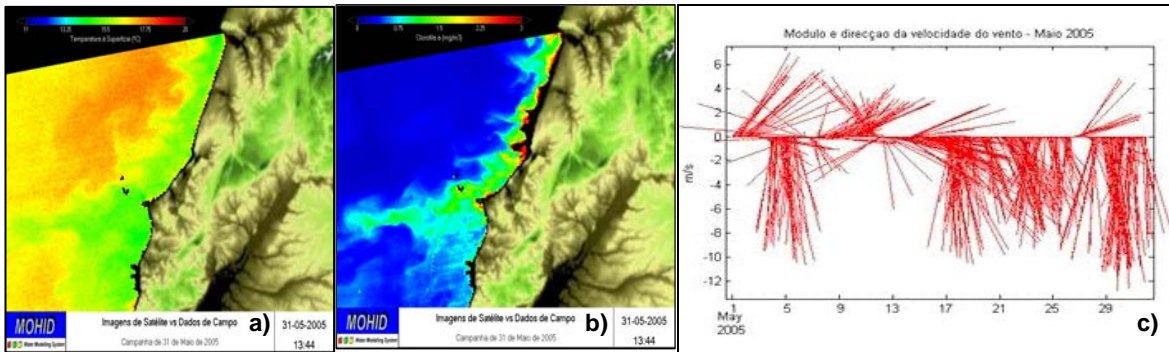


Figura 10: Distribuições de temperatura superficial da água (a) e de clorofila a (b) numa situação de upwelling (com vento do quadrante Norte), no dia 31 de Maio de 2005, às 12h55. (c) Vento para o período de Maio.

O estudo da correlação entre os ventos e correntes medidas pelo IH está apresentado na Figura 11, a qual mostra a componente N-S do vento em função da componente N-S da corrente. O coeficiente de correlação é 0.71, mostrando que a componente N-S da corrente é devida principalmente à componente N-S do vento. O facto de esta ser uma região sujeita a *upwelling* intenso e de as correntes serem fortes, mostra que a pluma do emissário tem um efeito secundário em termos de produção primária à escala da região e por isso o importante é garantir uma diluição inicial elevada, para minimizar o impacto local. A construção de um emissário longo (cerca de 2 km), perpendicular à costa (i.e. à corrente dominante) e descarregando numa zona profunda (30 metros) garante este objectivo. Estes resultados mostram que o modelo de dispersão da pluma deve ser tridimensional para simular a ressurgência de água profunda e que deve simular o efeito do vento (Leitão, 2004).

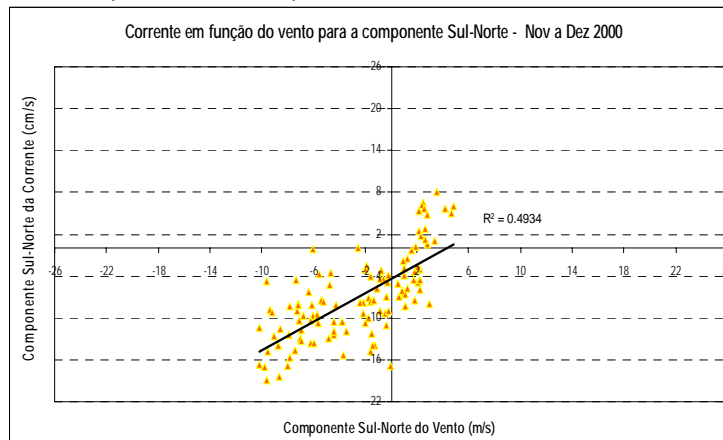


Figura 11: Corrente em função do vento para a componente Sul-Norte.

A Figura 12 e Figura 13 mostram resultados do modelo do emissário: escoamento e concentração superficial de *Bactérias Coliformes Termotolerantes*, para dois cenários de vento, Norte e Sul. O modelo é tridimensional e utiliza uma filosofia de modelos encaixados. O modelo mais fino cobre a zona do difusor com um passo espacial de 25

m e o modelo mais grosseiro (que calcula condições de fronteira para o mais fino) usa um passo espacial de 50 m e cobre uma região que inclui a Lagoa de Óbidos e a zona costeira adjacente numa extensão de cerca de 5 km. A figura mostra que a velocidade na zona do emissário é da ordem 25 cm/s e que a pluma atinge a superfície com uma concentração de cerca de $5E3$ coliformes/100ml que decai rapidamente para valores da ordem das dezenas como consequência da dispersão “de campo afastado” e da mortalidade devida à salinidade e radiação solar. O círculo representado (Figura 13) na vertical do difusor indica a concentração medida à superfície, que é muito semelhante à simulada. O efluente é descarregado com uma concentração de $2E6$ e por conseguinte a diluição inicial calculada pelo modelo e medida é da ordem de $1/1000$, como consequência da intensidade da corrente e da profundidade do difusor. A velocidade superficial é da ordem dos 20-25 cm/s e é consistente com o regime de ventos, que mostra no dia 24 de Outubro de 2005 ventos do quadrante sul e no dia seguinte ventos do quadrante norte, com intensidades de 4 m/s.

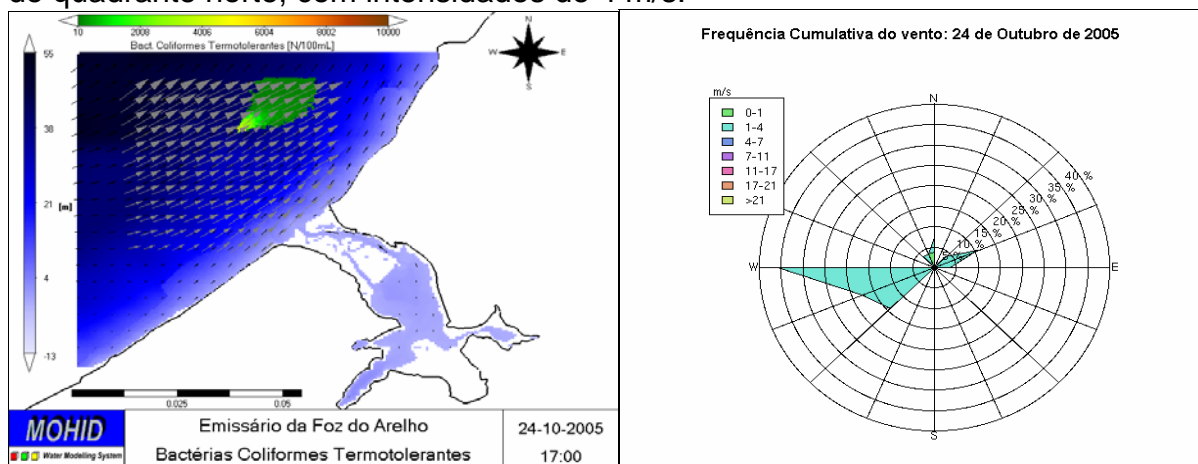


Figura 12. Dispersão da pluma do emissário da Foz do Arelho á superfície (vento de do quadrante sul).

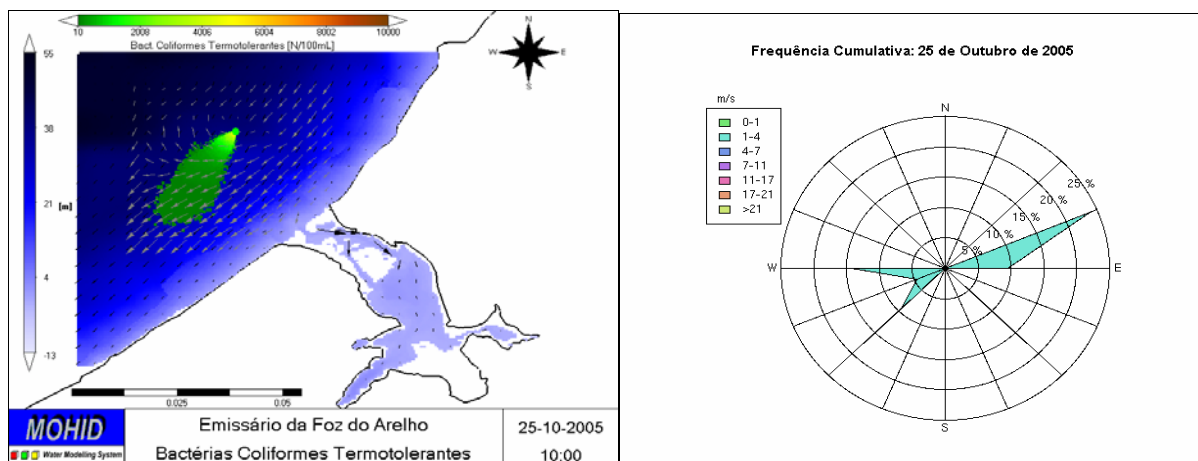


Figura 13. Dispersão da pluma do emissário da Foz do Arelho á superfície (vento de do quadrante Norte).

7 CONCLUSÕES

A qualidade da água na Lagoa de Óbidos é determinada pelas cargas afluentes e pelos processos de transporte e de enriquecimento em matéria orgânica dos sedimentos da zona de montante da Lagoa. A circulação no interior da Lagoa é forçada essencialmente pela maré, que gera um escoamento com velocidades elevadas na metade de jusante da Lagoa (da ordem de 1m/s no canal norte e de quase 2m/s na embocadura) e um escoamento com baixas velocidades na zona de montante, especialmente nos braços da Barrosa e do Bom Sucesso. Como consequência deste escoamento os tempos de residência na zona de montante são elevados, criando condições para o desenvolvimento de florescências algais (Blooms). As condições privilegiadas de sedimentação permitem a acumulação dos resíduos destas algas e a sua remineralização no local, libertando nutrientes para uma nova geração de algas. Este processo e a descarga de novos nutrientes rios, são responsáveis pela eutrofização da zona de montante. As cargas de nutrientes que chegam à Lagoa são provenientes de fontes pontuais urbanas e da actividade agrícola e agropecuária de características difusas, que gera cargas de dependem das práticas agrícolas e de gestão dos resíduos gerados pelos animais. As fontes de origem urbana estão localizadas principalmente na bacia do rio da Cal e são constituídas essencialmente pelos efluentes das ETAR's das Caldas da Rainha e da Charneca, que desde Setembro de 2005 são descarregados no mar através do Emissário submarino da Foz do Arelho. Estando as cargas afluentes à Lagoa a diminuir, poderemos afirmar que as condições tróficas deverão melhorar. A taxa a que irão melhorar depende da taxa a que diminuirão as cargas de origem agrícola e agropecuária e da taxa de remoção de nutrientes dos sedimentos. A primeira depende da aplicação de boas práticas agrícolas e a segunda depende dos processos naturais na Lagoa. Os dados de campo obtidos depois da entrada em funcionamento do emissário submarino não mostram alterações apreciáveis dos níveis de nutrientes. O que sugere as cargas de origem urbana não são as principais responsáveis pelos níveis tróficos elevados.

O processo de remoção de nutrientes acumulados no interior da Lagoa poderá ser acelerado removendo mecanicamente sedimentos ou alterando o regime hidrodinâmico da Lagoa, de modo a reduzir o tempo de residência. Intervenções deste tipo deverão ser precedidas de estudos detalhados, que incluam as implicações na hidrodinâmica da embocadura, cuja mobilidade a torna muito sensível a pequenas alterações do regime de correntes. A pluma do emissário submarino desloca-se paralelamente à costa, forçada essencialmente pelo vento, com velocidades da ordem dos 20-25 cm/s. Os valores elevados de correntes e a profundidade do difusor (30m) originam valores elevados de diluição inicial (da ordem de 1:1000), que conjuntamente com o grande comprimento do emissário (2000 m), impedem que a pluma atinja as praias. O pequeno tempo de residência da pluma e o upwelling costeiro tornam também o impacte da pluma irrelevante em termos de concentração de nutrientes e por isso em termos tróficos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Professor Delgado Domingos do IST, por disponibilizar os dados de ventos e a colaboração prestada, particularmente à Ana Rosa Trancoso, no decorrer deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

BRAUNSCHWEIG, F., MARTINS F., LEITÃO P.C. and Neves R. J., 2003. "A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case". *Ocean Dynamics*, 53 (3), pp 137-145.

CARVALHO, S., MOURA, A., GASPAR, M.B., PEREIRA, P., CANCELA DA FONSECA, L., FALCÃO, M., DRAGO, T., LEITÃO, F. and REGALA, J., 2005. "Spatial and inter-annual variability of the macrobenthic communities within a coastal lagoon (Óbidos lagoon) and its relationship with environmental parameters". *Acta Oecologica*, 27 (3): 143-159.

Directiva 91/271/CEE do Conselho, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas de 21 de Maio de 1991.

Directiva 76/160/CEE do conselho, relativa à qualidade das águas balneares de 8 de Dezembro de 1975.

EPA - Environmental Protection Agency, 2001. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual (<http://www.epa.gov/>).

IH-Instituto Hidrográfico, 2001. Monitorização ambiental da Lagoa de Óbidos, Proj. OC4104/01 MAMBO, Relatório Técnico final, pp. 15.

LEITÃO, P. - "Simulação integrada da dispersão de poluentes no campo próximo e afastado de um emissário", in 7º Congresso da Água, Lisboa (Portugal), 8 -12 Março 2004, LNEC-APRH.

MOHID, 2003. Mohid User Manuals (<http://www.mohid.com>).

Pisco F., SALGADO J. and PEDROSA T., 2003. Análise da Qualidade da Água da Lagoa de Óbidos, Relatório, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, pp.86.