

Monitorização da Qualidade da Água durante uma Empreitada de Dragagem do porto de Leixões (Portugal)

Water quality monitoring in a work of dredging of the Leixões Harbour (Portugal)

T.M.N. DE OLIVEIRA,¹ R. BOAVENTURA,² F.T. PINTO,² H. LOPES,² F.V. GOMES²

¹ Universidade da Região de Joinville – Univille, Joinville/SC

² Universidade do Porto, Porto

Resumo: Apresenta-se neste artigo um estudo da variação espaço-temporal de parâmetros físico-químicos de qualidade da água, medidos durante a empreitada de estabelecimento da bacia de rotação e do canal de acesso à doca 4 do porto de Leixões, a partir de informações contidas nos relatórios mensais de monitorização da empreitada. Nesse sentido foram selecionadas 10 estações de recolha na área de abrangência do Porto. As recolhas foram realizadas à superfície e no fundo, no período de janeiro de 2007 a outubro de 2007. Os parâmetros analisados para este estudo foram: pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio (CBO5), azoto amoniacal, turvação e sólidos suspensos totais (SST), a fim de se observar o comportamento da ressuspensão de matéria orgânica durante a empreitada. Os métodos de análise seguiram as recomendações de APHA (2001). Os resultados mostram que existem correlações de parâmetros com a proximidade da foz do rio Leça, bem como com dados de maré, precipitação e tipo de operação realizada. De uma forma geral os parâmetros de qualidade da água encontraram-se dentro dos limites indicados para as águas balneares e para as águas para suporte da vida aquícola, de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98 do MA que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade, com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função de seus principais usos.

Palavras chave: Qualidade da água. Dragagem. porto de Leixões.

Abstract: This article presents a study of spatial-temporal variation of physicochemical parameters of water quality, measured during the contract of establishment of the rotation basin and the access channel to the dock 4 of the Harbor of Leixões, Portugal, from information contained in the monthly monitoring reports. Ten (10) sampling stations were selected in the harbor and surrounding areas. The samples were sampled at the surface and bottom of water column, in the period of January 2007 to October 2007. Parameters analyzed were pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD5), nitrogen, turbidity and total suspended solids (TSS), in order to observe the behavior of organic matter resuspension during dredging procedure. Results demonstrate that correlations are more evident with the proximity of the Leça's River mouth, as well as tide data, rainfall and type of procedure executed. In general the parameters of water quality were within the limits specified for bathing and to support aquicolous life, in accordance with Decree-Law No. 236/98 of MA that establishes standards, criteria and quality objectives, in order to protect aquatic environment as well as improve water quality in terms of its main uses.

Keywords: Water quality. Dredging. Leixões Port.

DE OLIVEIRA T.M.N., BOAVENTURA R., PINTO F.T., LOPES H., GOMES F.V.: Monitorização da Qualidade da Água durante uma Empreitada de Dragagem do porto de Leixões (Portugal). En: MAS-PLA J., ZUPPI G.M. (eds.): *Gestión ambiental integrada de áreas costeras – Gestão ambiental integrada dos areas costeiras*. Barcelona, Rubes Editorial, 2009: 201-214.

11.1. Introdução

O sistema estuarino, pelas suas características ambientais únicas, possui uma elevada produtividade biológica, sendo de grande importância para o desenvolvimento da actividade pesqueira. A linha da costa de Portugal continental tem uma extensão de cerca de 950 km, encontrando-se na zona costeira a maioria das grandes cidades (Porto, Aveiro, Lisboa, Setúbal, Faro) onde vive cerca de 75% da população portuguesa que gera cerca de 85% do Produto Interno Bruto. Como resultado, a intensificação dos conflitos de interesse entre as várias actividades sócio-económicas, aumenta a dificuldade de manutenção dos ecossistemas costeiros e de preservação da biodiversidade, dada a grande carga orgânica lançada nestes ecossistemas.

No que diz respeito à actividade portuária a nível mundial, existe um enorme interesse sobre os estudos das dragagens em estuários e lagoas costeiras, ocupando um lugar proeminente as dragagens dos canais de navegação de áreas portuárias. Nas últimas três décadas, isto tem sido reforçado e num contexto de preocupações com as questões relacionadas com a poluição marinha, surgem os acordos internacionais, códigos e instrumentos como a London Dumping Convention, a Conferência Ministerial do Mar do Norte e a convenção MARPOL 73/78 (National Research Council, 1995).

Pelo porto de Leixões passam anualmente mais de 3100 navios, 200 mil contentores e 14 milhões de toneladas de todo o tipo de mercadorias, representando cerca de 25% do comércio externo português, tendo que estar sempre à frente nas acções planeadas, incluindo as acções de gestão ambiental e em especial as que envolvem a protecção da região estuarina (APDL, 2006). O estuário do rio Leça, onde se localiza o porto de Leixões, recebe grandes quantidades de esgotos domésticos e efluentes industriais que acabam na sua grande maioria por se depositar nos sedimentos da região estuarina do rio, tornando-se um factor de importância ambiental, especialmente nas acções de dragagem do porto.

Assim sendo, considerando que a qualidade da água é um reflexo do efeito combinado de muitos processos que ocorrem ao longo de um curso d'água (Peters & Meybeck, 2000, referido por Bueno, 2005), verifica-se a necessidade cada vez maior de uma monitorização da qualidade da água em operações de dragagem em zonas ecologicamente sensíveis e altamente pressionadas, como é o caso dos estuários, a fim de que se possa medir possíveis alterações e minimizar possíveis impactos no tempo.

Face a este enquadramento, este trabalho teve por objectivo estudar, descrever e interpretar, algumas variáveis de qualidade da água relacionadas com a ressuspensão de matéria orgânica durante a empreitada de estabelecimento da bacia de rotação e do canal de acesso à doca n.º 4 do porto de Leixões, realizada no período de Janeiro de 2007 a Outubro de 2007, visando apresentar uma situação onde se possa conciliar acções de engenharia e ecologia, relacionadas com o processo de dragagem que é sempre um processo bastante discutido na área ambiental, dada normalmente a magnitude dos impactos acrescidos e a sensibilidade das áreas onde normalmente ocorrem.

11.2. Caracterização da área de estudo

O porto de Leixões ocupa quase que na totalidade o estuário do rio Leça. A bacia hidrográfica do Leça (fig. 11.1) com cerca de 180 km² de área está orientada na direcção Este – Oeste e é limitada a Norte pela bacia do rio Ave e a Sul e a Este pela bacia do rio Douro. O rio Leça, com 45 km de comprimento, atravessa cinco municípios (Maia, Matosinhos, Santo Tirso, Porto e Valongo), que, na sua totalidade ou em parte, compõem a sua bacia hidrográfica. O rio nasce no Monte de St^a. Luzia, a cerca de 420 m de altitude e desagua em Leixões. Os seus principais afluentes são a Ribeira do Arquinho (bacia de 33 km²) e a Ribeira de Leandro (bacia de 20 km²). O estudo prévio e projecto base para a obra do emissário principal do rio Leça realizado em 1994, resumia já a situação das águas do rio Leça da seguinte forma: «As águas do rio Leça apresentam um avançado estado de degradação encontrando-se *mortas* em quase toda a sua extensão. Este rio, recebe efluentes não tratados, ou parcialmente tratados, dos núcleos urbanos da Maia (41%), Matosinhos (34%), Valongo (22%) e Santo Tirso (3%), bem como das numerosas indústrias têxteis, galvanoplastias, curtumes, matadouros, refrigerantes e químicas, localizadas ao longo se suas margens» (Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Leça, 1999).

No Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Leça de 1999, apresentam-se dados de análises de nove parâmetros em quatro estações de monitorização realizadas em 1996, tendo como resultados a classificação de extremamente poluído em três estações a jusante do rio Leça. Este histórico tem sido um factor complicador, especialmente nas acções de dragagem do porto de Leixões, considerando a situação dos sedimentos. O escoamento anual total na foz do rio Leça é, em média, de 107 hm³, a que corresponde um caudal médio de 3,4 m³/s. O estuário do rio Leça é de pequenas dimen-

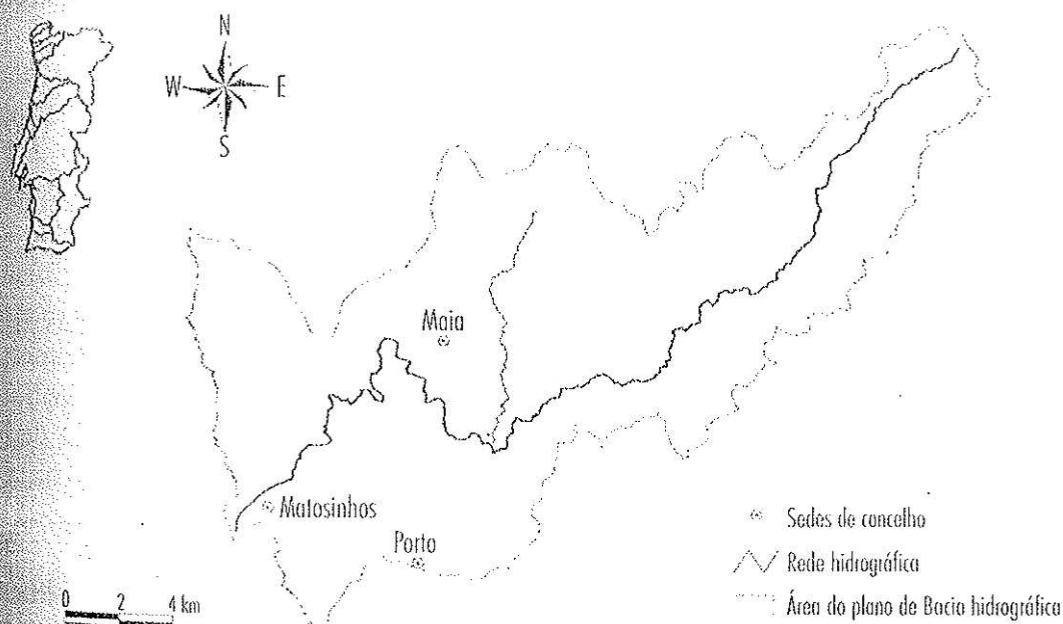


Figura 11.1: Bacia hidrográfica do rio Leça. (Fonte: Plano da Bacia hidrográfica do rio Leça, 1999.)

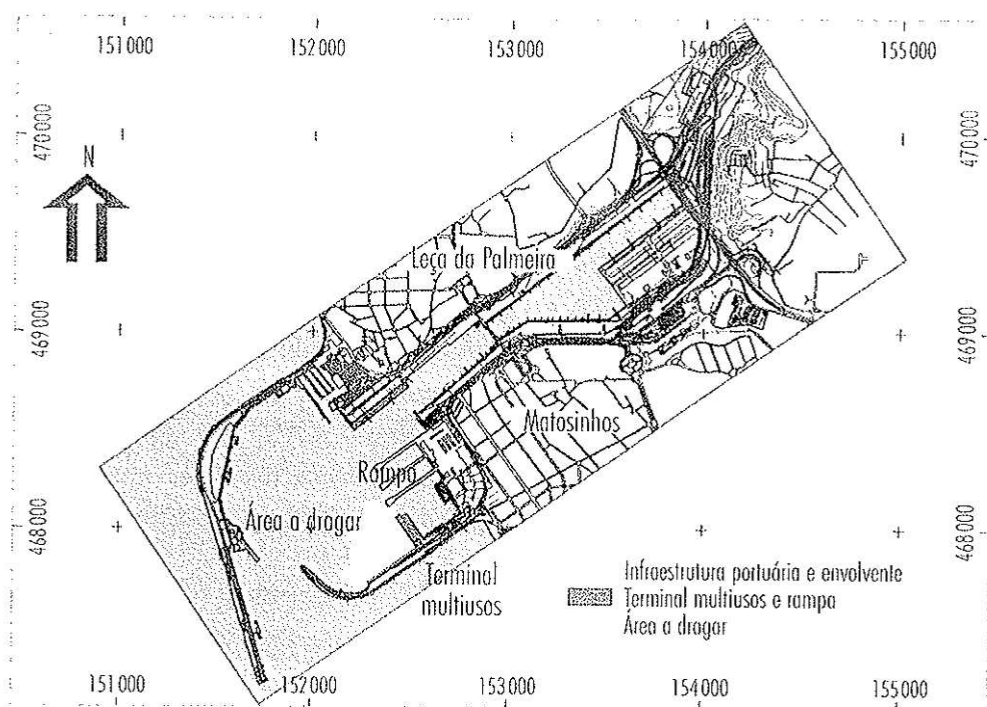


Figura 11.2: Localização geográfica do Porto de Leixões. (Fonte: APDL, 2006.)

sões e está muito artificializado, sendo ocupado na sua quase totalidade pelo porto de Leixões.

Localizado em Matosinhos, na Região Norte de Portugal, bem próximo da cidade do Porto (fig. 11.2), com uma envolvente urbana e produtiva que concentra cerca de 3,6 milhões de habitantes, o porto de Leixões é hoje considerado a maior infra-estrutura portuária e logística do noroeste da Península Ibérica.

11.3. Metodologia

11.3.1. Estações de amostragem

As estações de amostragem foram definidas de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da obra, sendo que, ao EIA foram acrescentados ainda pelo Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, um ponto no Posto C, outro à entrada do canal de acesso, e outro fora da área de influência do porto de Leixões, funcionando como ponto de controlo. Foram também definidas 7 estações nas zonas balneares de Leça da Palmeira, Matosinhos, Castelo do Queijo e Gondarém, que não foram alvo de análise deste artigo. O objectivo da localização das estações de amostragem analisadas foi o de apresentar uma malha representativa de toda a área de influência directa da obra. A localização das estações de amostragem está representada na figura 11.3.

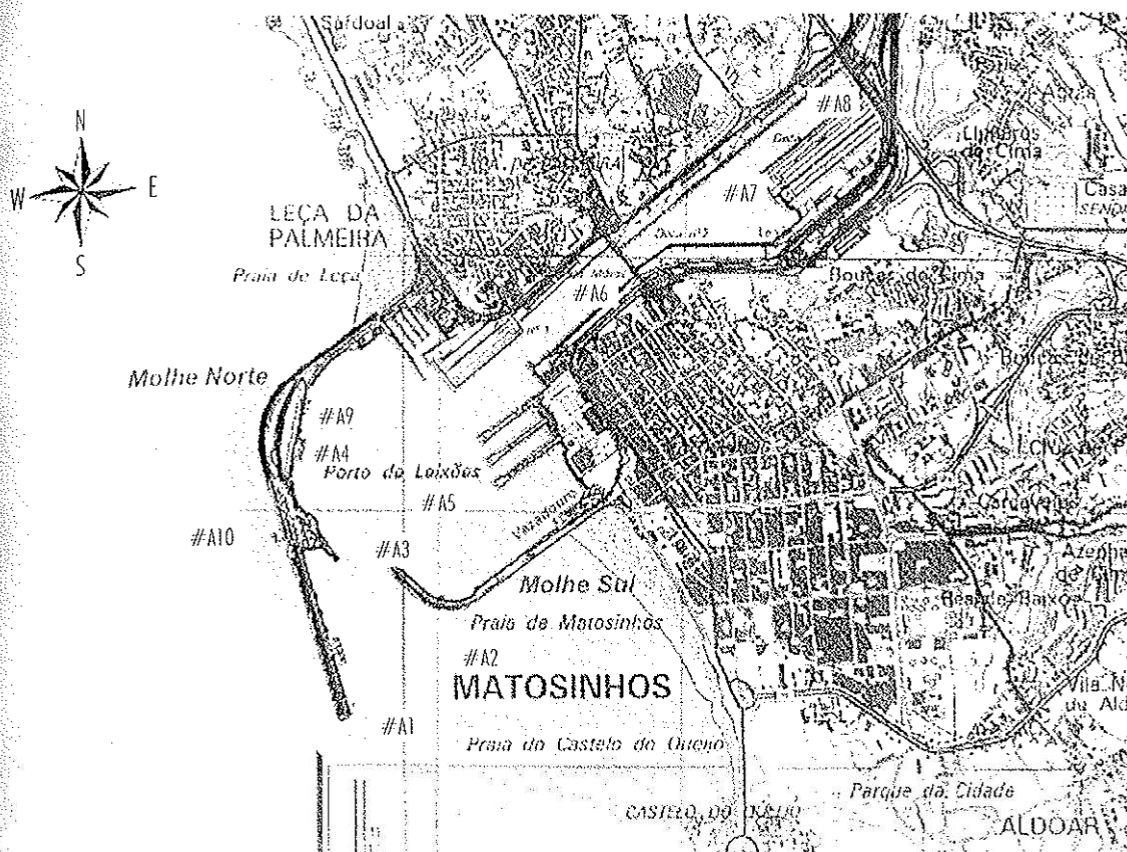


Figura 11.3: Localização das estações de amostragem da qualidade da água (Fonte: adaptado da carta militar nº 122, IGEOE, 1999.) Em todas as estações foram feitas coletas de superfície e fundo.

11.3.2. Actividades de amostragem

As amostras de água foram recolhidas à superfície e no fundo, com auxílio de uma bomba centrífuga eléctrica, a cerca de 1 e 9 m, sendo realizadas mensalmente no período de Janeiro de 2007 a Outubro de 2007, seguindo a duração de toda a empreitada de dragagem. Não houve recolha no mês de Setembro pois não ocorreram trabalhos de dragagem. A definição dos métodos de dragagem a serem realizados e locais de disposição dos sedimentos recolhidos foram feitas a partir da análise química e granulométrica dos sedimentos, realizada em Dezembro de 2006. Durante as recolhas, foram feitas in loco determinações de pH e oxigénio dissolvido com equipamento portátil, tendo sido utilizado para medição de pH um medidor portátil da marca HANNA HI 991000, e para medição de oxigénio dissolvido um medidor portátil YSI modelo 58.

11.3.3. Condições de campo

As condições de campo, dados importantes para apoiar a análise dos resultados, tais como, data, hora, coordenadas geográficas, foram anotadas e analisadas utilizando as informações: do Instituto Hidrográfico para dados de alturas, períodos de ondas e

Quadro 11.1: Informações de campo das campanhas

Mês	Dia	Hora	Maré
Janeiro	16	10:05 – 11:30	enchente
Fevereiro	6	10:05 – 11:25	vazante
Março	5	10:00 – 11:35	enchente
Abril	10	10:00 – 12:00	vazante
Maio	8	09:40 – 12:20	vazante
Junho	12	09:45 – 11:05	enchente
Julho	3	09:45 – 11:35	vazante*
Agosto	7	09:35 – 11:10	vazante/enchente**
Outubro	9	09:35 – 11:50	enchente

* Com enchente já no ponto A10. ** Enchente no ponto A6, A7, A8

amplitudes de marés e do Instituto Nacional da Água (INAG) para os dados relativos à precipitação. Foram também anotados os trabalhos executados no âmbito da empreitada na data da recolha das amostras, bem como as temperaturas da água à superfície e no fundo (fig. 11.5). O quadro 11.1 apresenta as informações de campo relativas às marés nos períodos das recolhas, e a figura 11.4 apresenta a precipitação acumulada 30 dias antes de cada recolha. A dragagem realizada no período estudado foi de rocha e o volume dragado foi de 150 000 m³.

11.3.4. Parâmetros monitorizados

Dos parâmetros a analisados foram seleccionados alguns considerando possíveis alterações ao nível da qualidade da água, associadas às operações de dragagem definidas

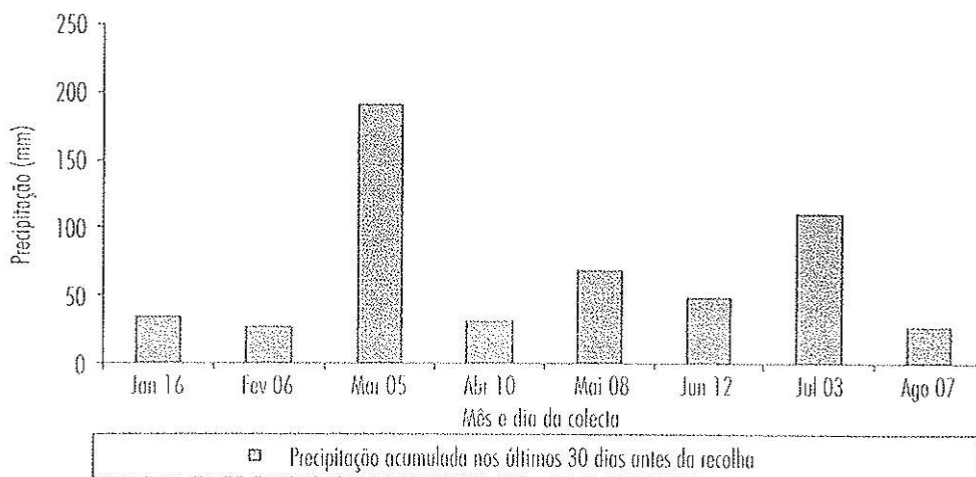


Figura 11.4: Precipitação acumulada 30 dias antes da recolha. (Fonte: INAG.)

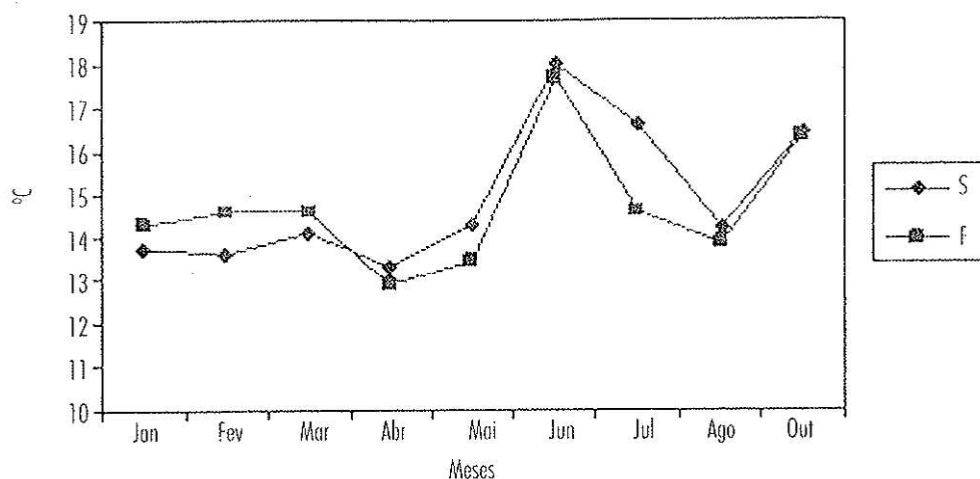


Figura 11.5: Temperatura da água à superfície e fundo medidas durante as recolhas.

no projecto proposto para o empreendimento. Os parâmetros considerados para este estudo foram: pH, oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio (CBO5), azoto amoniacal, turvação, sólidos suspensos totais (SST), a fim de se fazer uma análise da ressuspensão de matéria orgânica no período da dragagem.

11.3.5. Técnicas de análise

As técnicas, unidades e laboratórios utilizados para a realização das análises seguiram as recomendações do Decreto-Lei n° 236/98 do MA.

11.3.6. Análise dos resultados

A análise dos resultados foi feita a partir de tabelas e gráficos gerados pelos Softwares Excel 2003 da Microsoft e Minitab 14, da Minitab Inc. Para a realização da análise estatística dos dados, foi utilizado um intervalo de confiança de 95% para o teste-*t* de Student. Foram consideradas variações espaço-temporal, potenciais fontes de poluição associadas, interacção qualidade da água e sedimentos e relações causa-efeito com as actividades desenvolvidas nas várias fases do projecto, à luz da legislação em vigor na matéria, especificamente o Decreto-Lei n° 236/98, de 01 de Agosto que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

11.4. Resultados e discussão

A partir dos resultados monitorizados foram analisadas quatro tendências para a variação dos parâmetros na área de estudo: ao longo do canal do estuário do rio Leça,

ao longo da coluna de água, em função do movimento das marés e em função da sazonalidade na região. Observou-se que a maioria dos parâmetros variou de forma mais acentuada ao longo do comprimento do canal e sazonalmente. Nas figuras 11.6 a 11.11 apresentam-se os resultados da variação espacial e temporal dos parâmetros analisados, medidos à superfície e no fundo, durante a empreitada de dragagem para estabelecimento da bacia de rotação e do canal de acesso à doca 4 do porto de Leixões.

A partir das informações da figura 11.6, pode-se observar numa avaliação espacial um comportamento coerente com a localização das estações de amostragem, com valores de pH menores mais próximo ao rio Leça como resultado do estado de degradação do rio, e valores mais elevados de pH mais próximos do oceano, que já possuem essa característica de tamponamento do sistema. Numa avaliação temporal, observa-se o aumento dos valores de pH em relação à amostragem de referência, em praticamente todos os meses, verificando-se que são maiores nos meses de Abril, Maio, Junho e Julho, quando o volume de obra é já maior, com obras na doca 1, doca 2 e anteporto, o que remobiliza sedimentos. Com isto o pH aumenta, em função do aumento do volume de água marinha nas estações consideradas e devido ao aumento da profundidade do canal de acesso ao porto, função das operações de dragagem. Os limites artificiais resultantes estabilizam a posição da cunha salina durante condições atmosféricas normais (Johannesson, 2000), e consequentemente todos os parâmetros estão relacionados com uma maior intrusão salina.

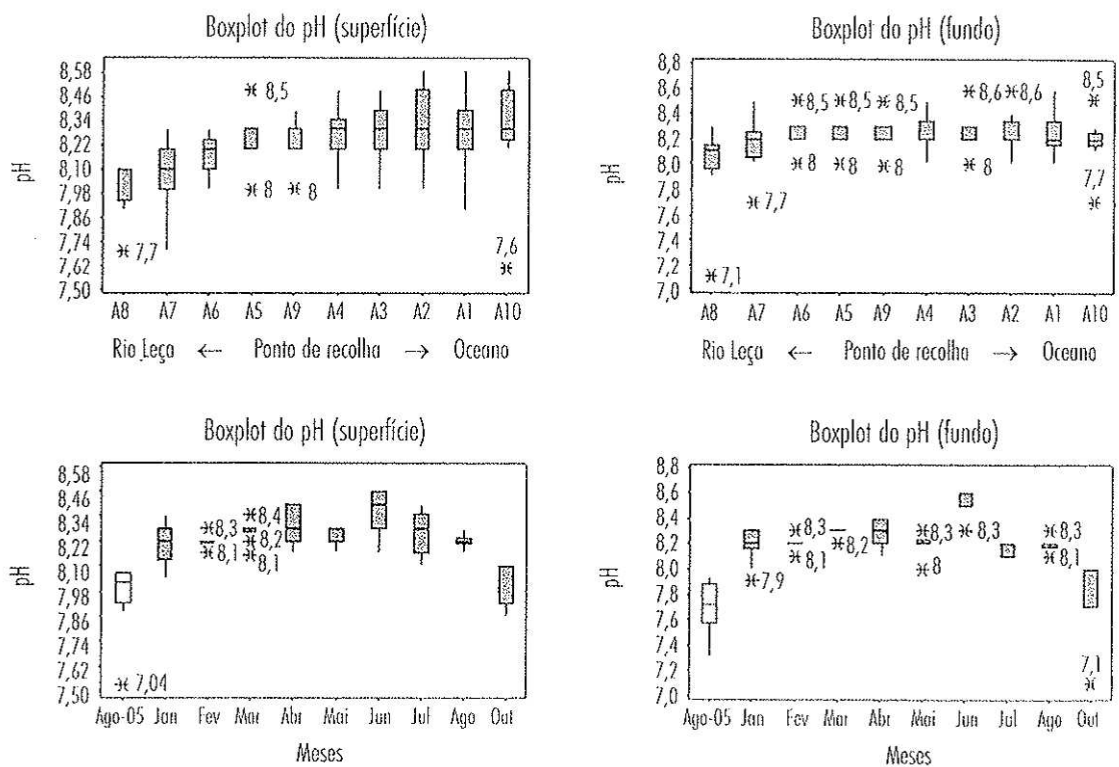


Figura 11.6: Variação espacial e temporal do parâmetro pH, medido à superfície e no fundo.

A partir dos dados da figura 11.7, pode-se observar numa avaliação espacial um comportamento já esperado com valores mais baixos de oxigénio dissolvido nas estações mais próximas ao rio Leça, como resultado do seu estado de degradação, tanto na superfície como no fundo e valores mais elevados quanto mais próximo do oceano.

A carência bioquímica de oxigénio (CBO5) é o parâmetro mais utilizado para a medida do consumo de oxigénio na água. Altos valores de CBO5 significam grande concentração de matéria orgânica oxidável biologicamente.

A partir dos dados da figura 11.8 pode-se observar numa avaliação espacial com um comportamento já esperado, com valores mais elevados de CBO5 nas estações mais próximas ao rio Leça, como resultado do seu estado de degradação, na superfície e fundo e valores mais baixos quanto mais próximo do oceano. Os valores variaram pouco, sendo maiores à superfície do que no fundo, apontando para um resultado de ressuspensão de matéria orgânica. Numa análise temporal, nota-se que os maiores valores ocorreram no mês de Janeiro. Ocorrem também maiores variações nas amostras de fundo. Contudo, nem à superfície nem no fundo os valores são significativos em termos de poluição, para uma determinada massa de água, de acordo com a legislação.

O azoto amoniacal é uma substância formada durante o processo de decomposição da matéria orgânica. Quanto mais poluídos os locais mais elevados são esses valores

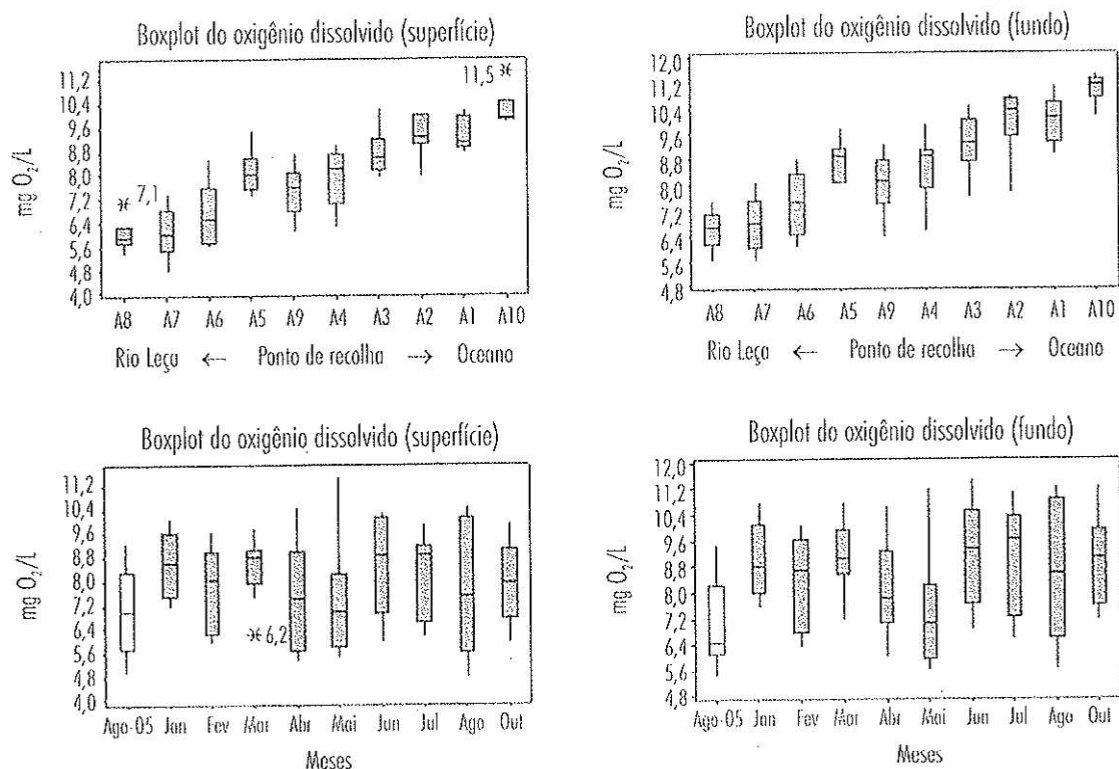


Figura 11.7: Variação espacial e temporal do parâmetro oxigénio dissolvido, medido à superfície e no fundo.

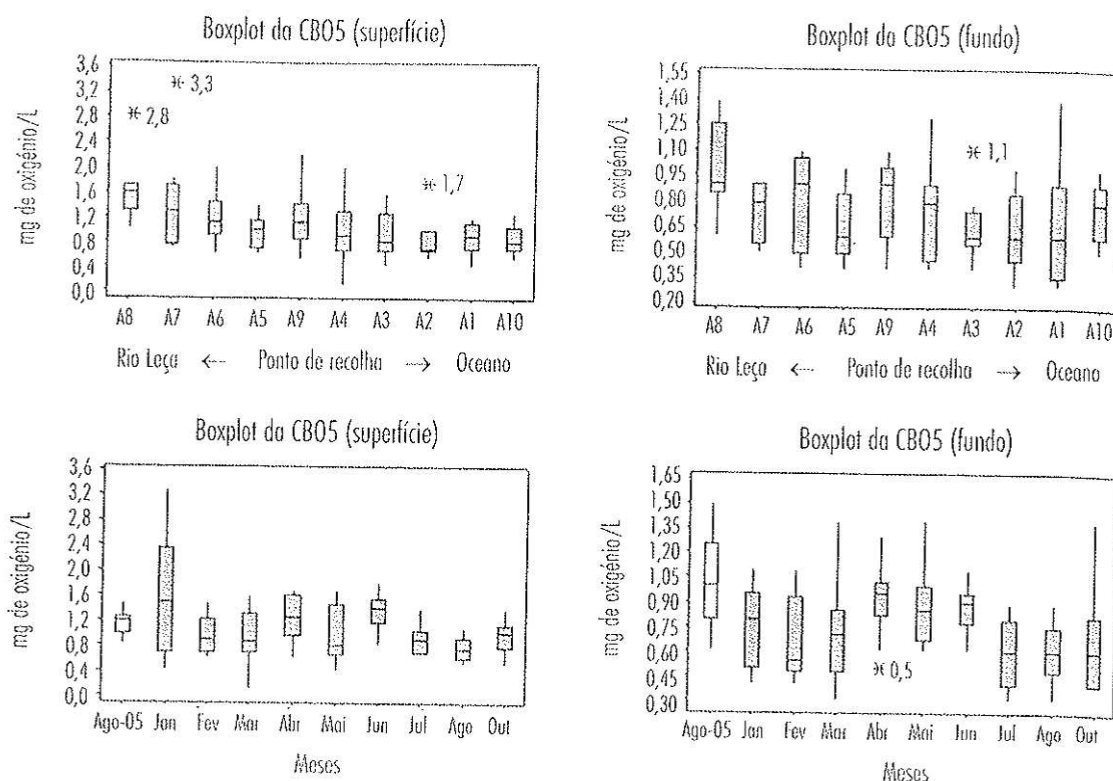


Figura 11.8: Variação espacial e temporal do parâmetro carência bioquímica de oxigénio, medido à superfície e no fundo.

e, sendo o azoto amoniacal o primeiro estágio da decomposição da matéria orgânica, é um indicador de poluição recente. Entre as possíveis origens, Newton *et al.* (2003) destacam-se as descargas de águas residuais tratadas e não tratadas e o escoamento superficial proveniente das áreas com agricultura intensiva.

Na figura 11.9, os maiores valores verificam-se nas estações A8, A7 e A6, tanto à superfície como no fundo, como resultado da descarga de efluentes não tratados através do rio Leça. Já na zona mais próxima do oceano os valores de azoto são mais baixos. Jones e Lee (1981) e Klump e Martens (1981), observaram que a ressuspensão de sedimentos causa, em geral, descargas rápidas de nutrientes para a coluna de água, podendo explicar os valores mais altos ocorridos nos meses de Janeiro e Junho à superfície e de Janeiro e Julho no fundo.

As figuras 11.10 e 11.11, estão relacionadas com parâmetros que sofrem a influência directa de acções de dragagem em função da significativa alteração na dinâmica de transporte dos sedimentos e da ressuspensão dos mesmos, seja pela operação de dragagem em si, seja pelo aumento do atrito de fundo resultante do aumento da velocidade da maré, Hossain *et al.* (2004), Bale *et al.* (1985). Os dados apresentados pelo relatório de monitorização das obras de dragagem do porto de Leixões apresentam valores bastante aquém do que se poderia esperar, comparando com estudos realiza-

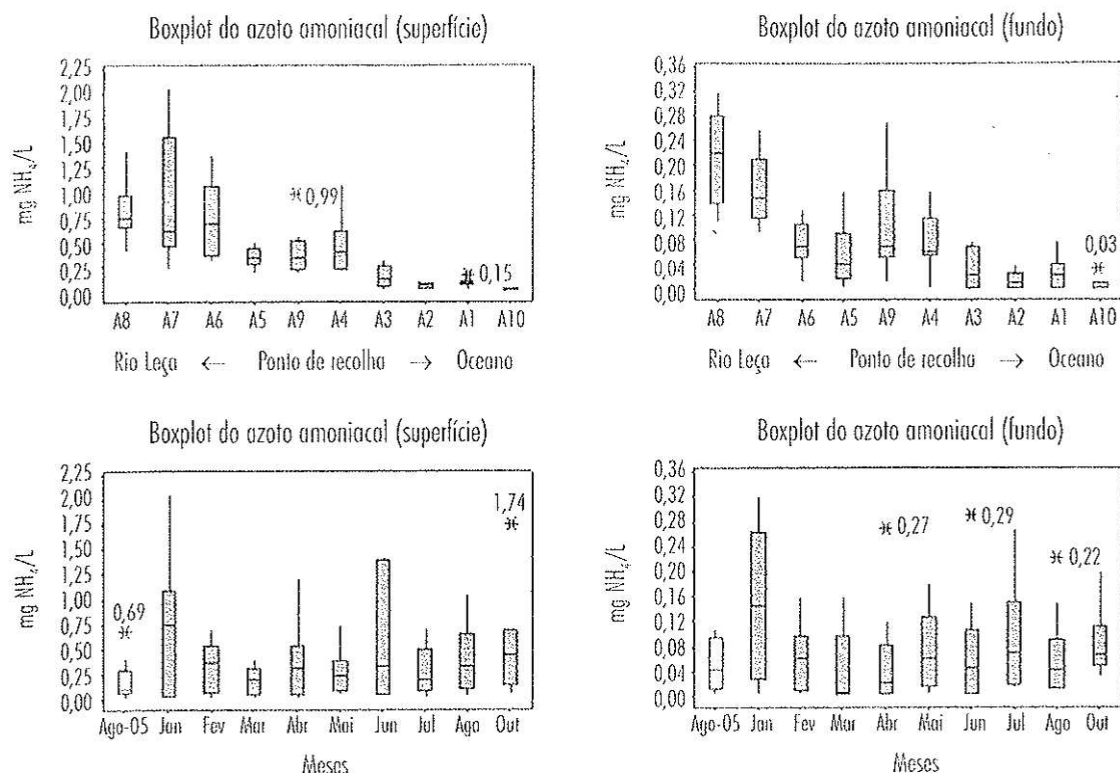


Figura 11.9: Variação espacial e temporal do parâmetro azoto amoniacal, medido à superfície e no fundo.

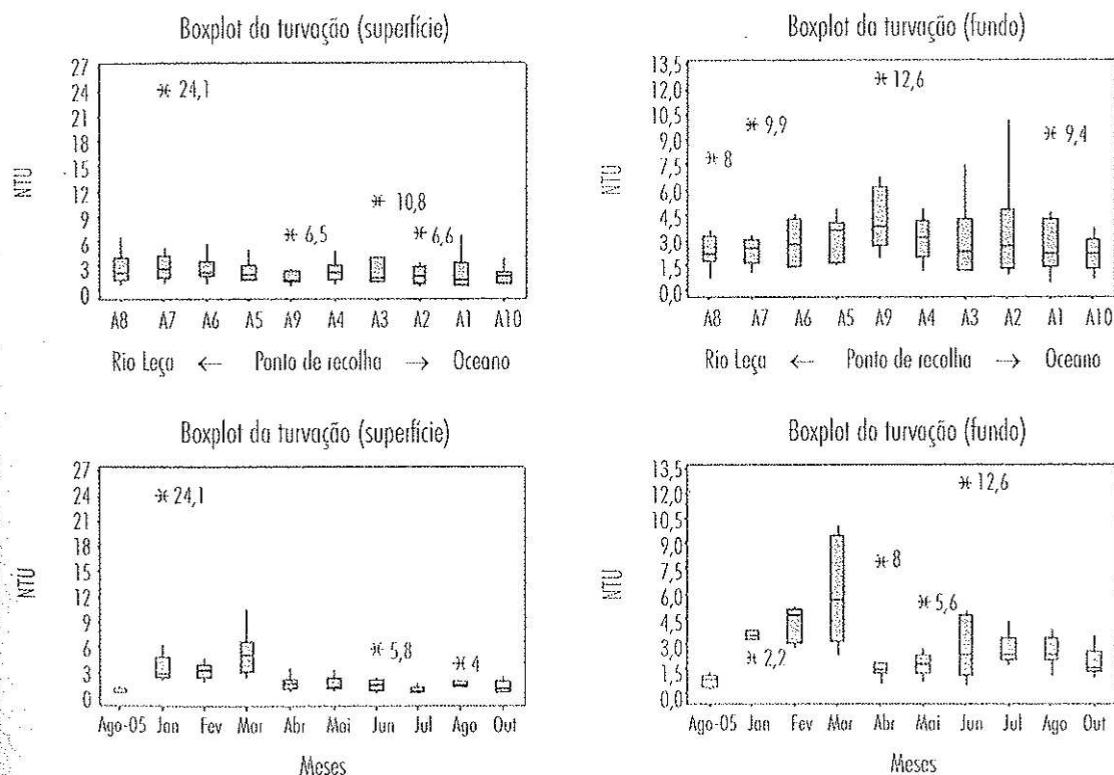


Figura 11.10: Variação do parâmetro turvação, medido à superfície e no fundo.

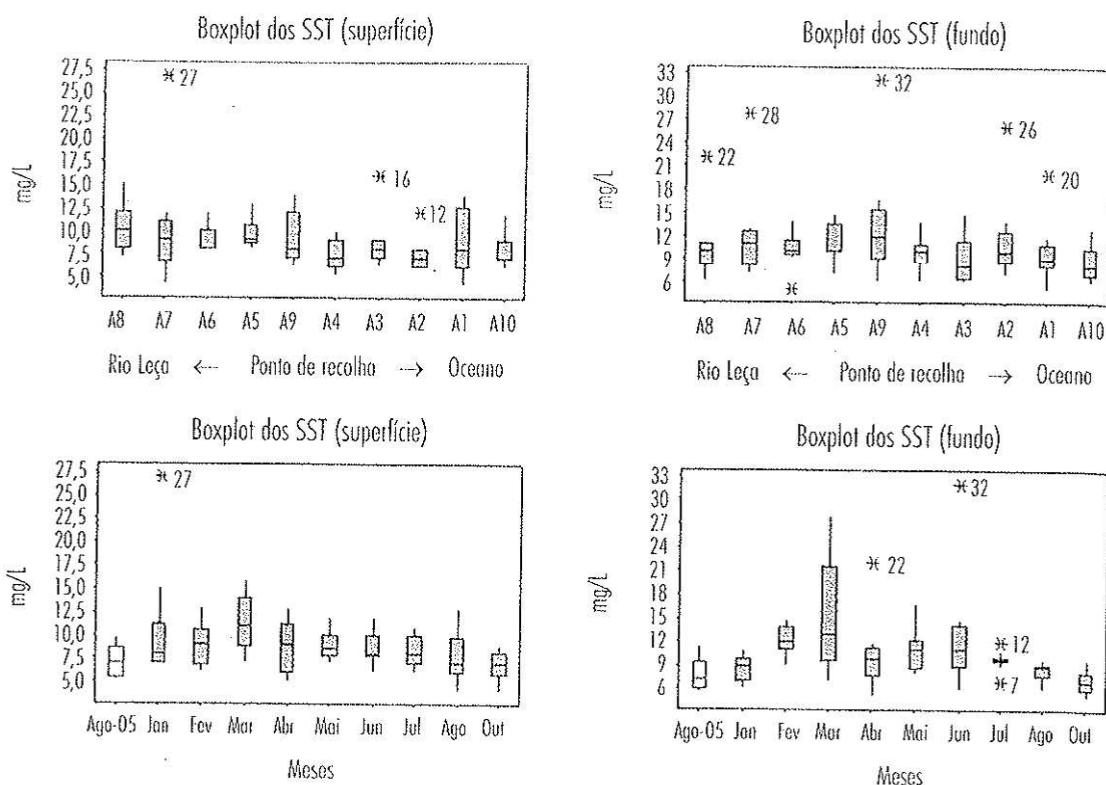


Figura 11.11: Variação espacial e temporal do parâmetro sólidos suspensos totais (SST), medido à superfície e no fundo.

dos noutros locais com características e actividades similares, Hossain *et al.* (2004), Xia *et al.* (2004), Tattersall *et al.* (2003), Kreek *et al.* (1997).

De acordo com Lohrer (2003) aumentos da concentração de SST e turvação podem ter vida curta, em função da sua granulometria em operações de dragagem num estuário. Na Carolina do Sul, tornavam-se indistinguíveis a partir de 720 m para jusante do rio e após cinco minutos do fim da actividade. O autor sugere que os sedimentos, com granulometria mais grosseira, sedimentam rapidamente. Já os sedimentos mais finos (siltes e argilas) permanecem suspensos por um tempo maior e podem conter concentrações maiores de nutrientes. Embora a concentração dos SST e da turvação sejam maiores que os encontrados no estuário do Leça, este facto poderia explicar as baixas concentrações destes parâmetros encontradas no decorrer dessa operação. De qualquer forma, de acordo com as figuras 11.10 e 11.11 fica evidenciado o aumento significativo da turvação e dos SST em relação à amostragem de referência.

11.5. Conclusões

Os estuários geralmente funcionam como corpos receptores de esgotos urbanos e efluentes industriais, contaminando os organismos aquáticos e as praias, que consti-

tuem o principal atractivo turístico destas regiões. A indústria e as actividades portuárias disputam os espaços remanescentes junto aos canais, com implicações igualmente nefastas para o ambiente estuarino. O fluxo de material transportado pelo rio Leça acaba por ser também neste caso um problema no decorrer de actividades de dragagem. A monitorização evidenciou que mesmo com variações temporais significativas nos parâmetros analisados ao longo da dragagem, as maiores e mais significativas variações são espaciais. Este facto mostra a necessidade eminente de se desenvolverem sistemas de controle da poluição do rio Leça a fim de se evitarem maiores remobilizações durante as dragagens que acabarão por ser necessárias no decorrer do tempo. De salientar que este trabalho analisou também os efeitos da dragagem de rocha já após a dragagem de sedimentos que normalmente remobiliza muito mais.

Impõe-se, portanto, a realização de investimentos em saneamento básico e controle da poluição para a melhoria da qualidade ambiental do estuário. Nesse contexto, seria interessante que a gestão do estuário se desse de forma unificada por meio de um organismo forte e representativo, capaz de gerir os conflitos existentes e administrar de forma sustentável a sua utilização, visando a compatibilização de usos múltiplos e a conservação dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

À Comunidade Europeia, por meio do projeto ELANCAM: European and Latin American Network on Coastal Area Management (Project UE ALFA, Number EU Grant: AML/19.0902/97/0666(II-0419-FA-FCD-FI) que possibilitou o desenvolvimento do presente trabalho com a FEUP- Universidade do Porto.

REFERÊNCIAS

- ADMINISTRAÇÃO DO PORTO DO DOUROS E LEIXÕES, S.A. Plano Estratégico do porto de Leixões 2ª Ed. Jan.2006. DI: 238050/06.
- BALE A.J., MORRIS A.W., HOWLAND R.M. (1985). Seasonal sediment movement in the Tamar estuary. *Oceanologica Acta* 8: 1-6.
- HOSSAIN S., EYRE B.D., MCKEE L.J. (2004). Impacts of dredging on dry season suspended sediment concentration in the Brisbane River estuary, Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61: 539-545.
- JOHANNESSON L.T., STEVENS R.L., ALEXANDERSON J.H (2000). Sediment Character in a Göteborg, Sweden Micro-Tidal, Harbor-Estuary. *Environment Estuaries* 23 (3): 400-410.
- JONES R., LEE G.F. (1981). The significance of dredging and dredged material disposal as a source of nitrogen and phosphorus for estuarine waters. In: Nielson B.J., Cronin L.E. (eds.). *Estuaries and Nutrients. International Conference on the Effects of Nutrient Enrichment in Estuaries*, Williamsburg, VA, USA, pp. 517-530.
- KLUMP J.V., MARTENS C.S. (1981). Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin. II. Nutrient sediment-waters exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45: 101-121.

- KREEK J.V., DAY C.M., MULDER H.P.J. (1997). Tidal variations in suspended sediment concentration in the Ems estuary: origin and resulting sediment flux. *Journal of Sea Research* 38: 1-16.
- LOHRER A.M., WEIZ J.J. (2003). Dredging-induced nutrient release from sediments to the water column in a southeastern saltmarsh tidal creek. *Marine Pollution Bulletin* 46: 1156-1163.
- NEWTON A., ICHEL J., FALCÃO M., NOBRE A., NUNES J.P., FERREIRA J.G., VALE C. (2003). Evaluation of Eutrophication in the Ria Formosa Coastal Lagoon, Portugal, *Continental Shelf Research* 23: 1945-1961.
- PETERS N.E., MEYBECK M. (2000). Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts to human activities. *Water International Urbana* 25 (2): 214-21. In: Bueno L.F, Galbiatti J.A, Borges M.J. (2005). Monitoramento de variáveis de qualidade da água do horto Ouro Verde – Conchal – SP. *Revista de Eng. Agríc.* 25 (3): 742-748. Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Leça, 1999.
- TATTERSALL G.R., ELLIOTT A.J., LYNN N.M. (2003). Suspended sediment concentrations in the Tamar estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57: 679-688.
- XIA X.M., LI Y., YANG H., WU C.Y., SING T.H., PONG H.K. (2004). Observations on the size and settling velocity distributions of suspended sediment in the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Research* 24: 1809-1826.