

MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL DO EMISSÁRIO SUBMARINO DA FOZ DO ARELHO USANDO UM VEÍCULO SUBMARINO AUTÓNOMO

Patrícia RAMOS

ISCAP, Rua Jaime Lopes Amorim, 4465-004 S. Mamede Infesta, Portugal
INESC Porto, Rua Dr. Roberto Frias 378, 4200-465 Porto, Portugal
T +351 22 2094399; F +351 22 2094350; pramos@inescporto.pt

Nuno CRUZ

FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
INESC Porto, Rua Dr. Roberto Frias 378, 4200-465 Porto, Portugal
T +351 22 5081507; F +351 22 5081443; nacruz@fe.up.pt

Aníbal MATOS

FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
INESC Porto, Rua Dr. Roberto Frias 378, 4200-465 Porto, Portugal
T +351 22 5081508; F +351 22 5081443; anibal@fe.up.pt

Sandra CARVALHO

Águas do Oeste S.A., Convento de São Miguel das Gaeiras, 2510-718 Óbidos
T +351 262 955200; F +351 262 955201; s.carvalho@aguasdooeste.com

RESUMO

O número de emissários submarinos a descarregar águas residuais em ambientes costeiros em todo o mundo é já bastante significativo e espera-se que venha a aumentar. No entanto, a avaliação do impacte ambiental destas estruturas é ainda bastante difícil. Os Veículos Submarinos Autónomos (VSAs), pela relativa facilidade de operação e capacidade de recolha de grandes quantidades de dados, de natureza muito diversa, a diferentes profundidades e com grande rapidez, constituem uma tecnologia de vanguarda para monitorização ambiental, e podem ser utilizados com elevado sucesso na avaliação das condições de funcionamento dos emissários submarinos. Nesta publicação abordamos a utilização do veículo submarino autónomo MARES para monitorização de emissários submarinos. Depois de uma breve descrição das características físicas e do modo de funcionamento desta tecnologia de ponta, são apresentadas as várias etapas que compõem uma missão de monitorização e os resultados obtidos numa campanha levada a cabo no emissário submarino da Foz do Arelho.

PALAVRAS-CHAVE: descarga de águas residuais; avaliação de impacte ambiental; emissários submarinos; monitorização; veículos submarinos autónomos

1 INTRODUÇÃO

Os emissários submarinos constituem importantes fontes de poluentes para os ecossistemas costeiros. Este método de descarga tem vantagens em termos económicos e um impacto relativamente pequeno em termos sociais, mas levanta ao mesmo tempo preocupações importantes acerca da saúde pública e da preservação e qualidade do ecossistema (Hunt *et al.*, 2002; Petrenko *et al.*, 1998; Washburn *et al.*, 1992; Wu *et al.*, 1994). O oceano oferece uma capacidade de diluição relativamente rápida de algumas substâncias nocivas, mas também integra partículas contendo metais pesados, bactérias, vírus e outras substâncias. A questão que se coloca é quais são os reais impactos destas substâncias nas populações urbanas e nos ecossistemas costeiros (Ramos e Neves, 2009).

Os Veículos Submarinos Autónomos (VSAs), pela relativa facilidade de operação e capacidade de recolha de grandes quantidades de dados, de natureza muito diversa, a diferentes profundidades e com grande rapidez, constituem uma tecnologia de vanguarda para monitorização ambiental e em particular podem ser utilizados com elevado sucesso na avaliação das condições de funcionamento dos emissários submarinos (Ramos, 2005).

Nesta publicação fazemos uma breve descrição do VSA MARES e apresentamos os detalhes de uma campanha de monitorização ao emissário submarino da Foz do Arelho (Ramos e Carvalho, 2008) realizada em Novembro de 2007. Para além da caracterização da área de operação do veículo e dos dados por ele recolhidos, são apresentados os resultados da campanha, os quais permitem comprovar a eficácia desta tecnologia na detecção e mapeamento de plumas de efluente.

2 VSA MARES

O MARES (Modular Autonomous Robot for Environment Sampling) é um Veículo Submarino Autónomo (VSA) extremamente modular que foi desenvolvido pelo Grupo de Sistemas Oceanográficos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/INESC Porto (ver Figura 1).

Figura 1. VSA MARES em missão.

O MARES tem um diâmetro de 20 cm, aproximadamente 1.5 m de comprimento, pesando cerca de 32 kg no ar (Cruz e Matos, 2008). Este VSA possui uma estrutura mecânica feita de copolímero de acetato altamente modular, com um casco central e várias secções adicionais. Uma vez, que estas secções são extensões, podem ser facilmente trocadas, sendo simples a inserção de novas secções. A propulsão e direcção são controladas por dois impulsores horizontais independentes situados na parte traseira. Um conjunto de dois impulsores instalados na direcção vertical controla a velocidade vertical e o ângulo de inclinação. Os quatro impulsores permitem diversas operações em áreas restritas com movimentos horizontais e verticais independentes e velocidade iniciando em 0 m/s.

Os circuitos electrónicos estão localizados no casco central. A energia é fornecida por baterias Li-Ion recarregáveis, com um total de energia de 600 Wh. Dependendo da velocidade do

veículo, essas baterias podem durar até cerca de 10 horas, correspondendo a uma autonomia de aproximadamente 40 km.

O computador principal é um PC-104 com bateria suplementar, uma CPU, uma placa de comunicação e um disco de estado sólido.

O sistema de navegação do VSA MARES é baseado numa rede acústica constituída por duas bóias de navegação e instrumentação (BsNI) que se posicionam na zona de operação (ver Figura 2). Através da troca de sinais acústicos com as BsNI o veículo consegue determinar em cada instante a sua posição por triangulação (Santos *et al.*, 2008).. Estas BsNI permitem ainda acoplar sensores de medição *in situ* e transmitir os respectivos dados em tempo real via rádio link. Durante a realização de uma missão de um VSA estas bóias podem ainda funcionar como amarrações de sensores (físico-químicos, perfiladores acústicos, etc) para a obtenção, por exemplo, de dados de referência. A informação de navegação trocada entre o veículo e as bóias é transmitida para a estação de controlo localizada na embarcação de apoio, sendo assim possível ao operador seguir em tempo real a trajetória do veículo.

Figura 2. Bóia de navegação e instrumentação ancorada na zona de operação.

O interesse desta tecnologia de ponta está na sua capacidade de acomodar sensores que vão medindo os vários parâmetros ambientais à medida que este realiza o percurso desejado. Para as missões de monitorização em causa foram instalados a bordo do VSA MARES um sensor CTD SBE49 da marca Sea-Bird Electronics, Inc. que permite medir condutividade, temperatura e pressão, um fluorímetro da marca WetLabs, modelo ECO-Puck na versão Triplet, que permite medir simultaneamente a concentração de Clorofila-a, CDOM (Color Dissolved Organic Matter) e reflexão da luz no comprimento de onda de 660 nm e um sensor de atenuação óptica da marca WetLabs, modelo SAM (Scattering Attenuation Meter), que permite aferir a atenuação da luz através de medidas da reflexão Estes dois sensores ópticos foram recentemente instalados e serão utilizados na próxima campanha de monitorização ao emissário submarino da Foz do Arelho. Todos os dados provenientes dos sensores são transmitidos para o sistema computacional do VSA, à medida que este se desloca na área de operação, e aí armazenados para posterior processamento.

O VSA MARES tem pouco espaço para acomodar carga útil mas é simples incluir outros sectores, e o casco principal tem vários conectores excedentes para fornecer energia e comunicações.

3 ETAPAS DE UMA MISSÃO DE MONITORIZAÇÃO

Tipicamente uma missão de monitorização inicia-se com o transporte de todo o equipamento numa embarcação de apoio para a zona da descarga. De seguida são levadas a cabo pela sequência indicada as seguintes tarefas:

1. Obtenção de perfis verticais de ADCP e CTD para estimação do posicionamento da pluma usando um modelo matemático;

2. Colocação da 1ª bóia de navegação e instrumentação na água em local pré-determinado;
3. Movimentação para o local de amarração da 2ª bóia de navegação e instrumentação e sua colocação na água;
4. Movimentação para o ponto de partida da missão;
5. Determinação da trajectória do VSA com base no modelo matemático;
6. Colocação do VSA na água no ponto de partida;
7. Configuração manual da rede acústica;
8. Arranque da missão e seguimento a trajectória do VSA na estação de controlo;
9. Recolha do VSA da água uma vez terminada a missão.

As condições do mar da costa oeste portuguesa são extremamente adversas para a realização de campanhas de recolha de dados. Das várias experiências já realizadas concluiu-se que para que o VSA MARES possa ser utilizado para monitorização de rotina e de emergência dos emissários submarinos instalados é necessário que as campanhas sejam realizadas com a mínima intervenção dos operadores e que o veículo disponha de mecanismos de acompanhamento e de recuperação. Nos últimos anos têm sido efectuados vários desenvolvimentos nesse sentido, tendo sido concebida uma aplicação de software que guia o operador através dos passos descritos automatizando todo o procedimento. Este software integra um conjunto de módulos que permitem:

- Aquisição em tempo real de dados dos sensores ADCP e CTD;
- Modelização dos parâmetros da pluma;
- Criação automática da trajectória;
- Configuração automática da rede acústica;
- Visualização em tempo real do percurso que está a ser desenvolvido pelo veículo no mar.

Na Figura 3 mostra-se o ecrã de aquisição de dados de ADCP do software.

Figura 3. Ecrã de aquisição de dados de ADCP.

4 RESULTADOS DE UMA MISSÃO

Nesta secção apresentam-se os resultados de uma campanha de monitorização ao emissário submarino da Foz do Arelho usando o VSA MARES realizada em Novembro de 2007.

Na Figura 4 e Figura 6 apresentam-se, respectivamente, os mapas da distribuição da temperatura e condutividade relativos às profundidades de 1.5 m e 3 m.

Figura 4. Mapas da distribuição da temperatura relativa às profundidades de 1.5 m e 3 m.

Figura 5. Mapas da distribuição da condutividade relativa às profundidades de 1.5 m e 3 m.

Nestes mapas pode detectar-se a presença da pluma de efluente através da diminuição da temperatura e da condutividade do meio. Note-se que a diferença máxima de temperatura detectada é da ordem de 0.1 °C e que a diferença máxima de condutividade registada é inferior a 0.01 S/m. Refira-se que estas diferenças reduzidas apenas foram possíveis de detectar dada

a elevada sensibilidade da sonda CTD utilizada. Embora a zona de operação definida para o VSA não tivesse sido suficientemente extensa de modo a permitir um completo mapeamento da pluma, é possível verificar que à profundidade de 1.5 m a pluma de efluente se estende entre as direcções nordeste e sudeste a partir do ponto médio do difusor. Os dados recolhidos a 3 m de profundidade indicam uma maior proximidade da pluma ao difusor, tal como seria de esperar. Contudo, a zona de operação coberta a esta profundidade não permite uma caracterização mais precisa da pluma. Nesta profundidade a pluma é detectada na direcção Este do ponto médio do difusor.

Com base nas medidas de temperatura, condutividade e pressão é possível determinar a salinidade do meio, cuja distribuição relativa às profundidades de 1.5 m e 3 m se apresenta na Figura 6.

Figura 6. Mapas da distribuição da salinidade relativa às profundidades de 1.5 m e 3 m.

Também aqui se confirma a presença da pluma à profundidade de 1.5 m entre as direcções nordeste e sudeste a partir do ponto médio do difusor, e à profundidade de 3 m na direcção Este do ponto médio do difusor.

Estes resultados comprovam que as medições de condutividade, temperatura e pressão obtidas com o VSA permitiram uma fácil identificação da zona de extensão da pluma de efluente proveniente do emissário submarino. Este facto é digno de relevo uma vez que o baixo caudal de efluente resulta numa rápida diluição deste no meio receptor, originando reduzidas assinaturas em termos das grandezas consideradas.

5 CONCLUSÕES

O VSA MARES constitui uma tecnologia de vanguarda para monitorização ambiental de emissários submarinos. Os resultados mais recentes obtidos numa campanha de monitorização ao emissário submarino da Foz do Arelho usando dados de CTD mostram que a elevada sensibilidade da sonda utilizada permite identificar de forma clara a extensão da pluma no meio receptor.

Este trabalho permitiu também concluir que para que seja possível a estimação da diluição proporcionada pelo emissário, dado fundamental para a avaliação do impacte ambiental da descarga, é necessário complementar a informação fornecida pelo CTD com outro tipo de medidas. Para colmatar esta necessidade foram recentemente instalados no VSA MARES dois sensores ópticos multi-comprimento de onda que permitirão obter uma assinatura clara do campo de escoamento e a quantificação dos seus componentes.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto WWECO – Avaliação de impacte ambiental e modelização de descargas de água residuais usando observações bio-ópticas de veículos submarinos autónomos - financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia ao

abrigo do Programa de Projectos de Investigação em todos os domínios científicos (ref. PTDC/MAR/74059/2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cruz N., Matos A. (2008). The MARES AUV, a Modular Autonomous Robot for Environment Sampling. In *Proceedings of the MTS-IEEE Conference Oceans'2008*. Quebec.

Hunt C.D., Steinhauer W.S., Mansfield A.D., Albro C.A., Roberts P.J.W., Geyer, W.R., Mickelson M.J. (2002). Massachusetts Water Resources Authority Effluent Outfall Dilution: April 2001, July 2001. In *Report ENQUAD, Boston: Massachusetts Water Resources Authority*.

Petrenko A.A., Jones B.H., Dickey T.D. (1998). Shape and initial dilution of sand island, Hawaii sewage plume. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 124(6), 565 -571.

Ramos P. (2005). *Advanced mathematical modeling for outfall plume tracking and management using autonomous underwater vehicles based systems*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

Ramos P., Carvalho S. (2008). Foz do Arelho Outfall Plume Predictive Study. In *Proceedings of the MTS-IEEE Conference Oceans'2008*. Quebec.

Ramos P., Neves M. (2009). Environmental Impact Assessment and Management of Sewage Outfall Discharges using AUV's. In *Underwater Vehicles*. Ed. A. Inzartsev. ISBN 978-953-7619-49-7. In-Tech. Austria.

Santos N., Matos A., Cruz N. (2008). Navigation of an Autonomous Underwater Vehicle in a Mobile Network. In *Proceedings of the MTS-IEEE Conference Oceans'2008*. Quebec.

Washburn L., Jones B.H., Bratkovich A., Dickey T.D., Chen M. (1992). Mixing, dispersion, and resuspension in vicinity of ocean wastewater plume. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 118(1), 38-58.

Wu Y., Washburn L., Jones B.H. (1994). Buoyant plume dispersion in a coastal environment: evolving plume structure and dynamics. *Continental Shelf Research* 14(9), 1001-1023.