

PERSPECTIVAS PARA A UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS SUBMARINOS AUTÓNOMOS NA MONITORIZAÇÃO DE DESCARGAS DE ÁGUAS RESIDUAIS

Patrícia RAMOS

*Assistente, ESTG-IPVC, Av. Do Atlântico, 4900, Viana do Castelo, +351.58.819700, patricia@estg.ipvc.pt,
FEUP, ISR, Rua dos Bragas, 4050-453, Porto, +351.22.2041976, patricia@saga.fe.up.pt*

Mário V. NEVES

Professor, FEUP, Rua dos Bragas, 4050-453, Porto, +351.22.2041864, mjneves@fe.up.pt

Nuno CRUZ

Engº Electrotécnico, FEUP, ISR, Rua dos Bragas, 4050-453, Porto, +351.22.2041976, nacruz@fe.up.pt

Fernando L. PEREIRA

Professor, FEUP, ISR, Rua dos Bragas, 4050-453, Porto, +351.22.2041976, flp@fe.up.pt

RESUMO

Os Veículos Submarinos Autónomos (VSAs), pela ausência de ligação física com o exterior, 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 gestão de recursos subaquáticos.

O presente artigo começa por descrever o VSA *Isurus* existente no Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o seu sistema computacional de bordo, de localização e navegação, os sensores já existentes e aqueles que poderão ser incorporados, bem como os procedimentos operacionais.

Referem-se de seguida exemplos de potenciais aplicações nas áreas do ambiente e recursos hídricos, bem como missões concretas já executadas, nomeadamente no estuário do Rio Minho e na albufeira de Crestuma-Lever.



Por ser, possivelmente, a matéria que mais tem a ver com o Congresso, as possibilidades de utilização no planeamento, construção e monitorização de sistemas de descargas de efluentes são analisadas com maior detalhe, particularmente os exutores submarinos para descarga de águas residuais, em virtude do número de empreendimentos já em serviço. Salienta-se, no entanto, que uma metodologia similar poderá ser adoptada para outros casos de descarga de efluentes, como sejam, por exemplo, águas quentes provenientes de circuitos de refrigeração de centrais térmicas ou unidades industriais.

Palavras Chave: Veículos Submarinos Autónomos, Águas Residuais, Exutores Submarinos, Monitorização.

1 – INTRODUÇÃO

Reconhecendo que para além de muitas outras áreas de aplicação, os Veículos Submarinos Autónomos (VSAs) constituem uma solução de vanguarda para algumas actividades nos domínios do ambiente e dos recursos hídricos, desde há alguns anos que o Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS), que agrega investigadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e do Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) vem trabalhando neste assunto. Da colaboração com a Woods Hole Oceanographic Institution, dos EUA, resultou a aquisição do VSA *Isurus*, um veículo da classe REMUS (*Remote Environment Measuring UnitS*), ALT *et al.* (1994), CURTIN *et al.* (1993).

Algumas missões nas áreas em apreço já foram levadas a cabo em colaboração com outras entidades, como sejam estudos para caracterizar o ambiente subaquático do estuário do Rio Minho e avaliar as condições de erosão e sedimentação na albufeira de Crestuma-Lever, bem como analisar a influência da central termoeléctrica da Tapada do Outeiro.

Muitas outras aplicações foram inventariadas, conforme adiante se verá, sendo que para o âmbito deste trabalho interessará analisar em especial o caso dos sistemas de descarga de efluentes, em particular as questões relacionadas com exutores submarinos para descarga de águas residuais – NEVES *et al.* (1992).

2 - O VSA ISURUS

Conforme atrás se referiu, o LSTS dispõe de um VSA da classe REMUS, baptizado de *Isurus*, cuja fotografia é reproduzida na Figura 1. Este veículo tem o corpo central de forma cilíndrica, com cerca de 1.5 m de comprimento e 20 cm de diâmetro. O peso no ar é de cerca de 30 kgf, podendo operar até à profundidade de 200 m. O veículo é constituído por três partes distintas: a zona frontal, que integra os sensores que contactam com o meio aquático, o corpo central hermético, contendo os dispositivos electrónicos, e a cauda que contém o sistema de propulsão.



Figura 1 – VSA *Isurus*

Durante as missões, o veículo desloca-se sem qualquer ligação física com o exterior e a energia é fornecida por um conjunto de baterias recarregáveis. O motor de propulsão permite navegar a uma velocidade máxima de 4 nós (aproximadamente 2 m/s ou 7.2 Km/h), existindo lemes verticais para controlo de direcção e lemes horizontais para controlo de profundidade. A duração máxima das missões é de cerca de 10-12 horas à velocidade nominal de 2-3 nós, ou seja, é possível percorrer entre X e Y 30 milhas marítimas (cerca de 56 km).

Atendendo às suas características físicas, pode ser facilmente transportado e lançado a partir da costa ou de uma pequena embarcação, não necessitando de equipamento especial de apoio. Apesar do seu pequeno tamanho, pode ser reconfigurado para uma grande variedade de sensores e o seu comprimento pode ainda ser aumentado para permitir um acréscimo de carga útil.

2.1 Sistema Computacional de Bordo

O sistema computacional de bordo é baseado na tecnologia PC-104, uma versão em tamanho reduzido dos computadores pessoais vulgares. As diversas placas PC-104 (CPU, comunicação por portas série, etc...) encontram-se ligadas a uma *motherboard* especialmente desenhada para este sistema, na qual existem ainda outros dispositivos específicos (conversores Analógico-Digitais, circuitos de condicionamento de sinal, portas de entrada e saída digital, etc). Durante a execução de missões, todos os dados recolhidos ficam registados no disco duro.

Atendendo aos requisitos de controlo dos vários sub-sistemas do veículo, assim como à fiabilidade imposta a um sistema destinado à operação autónoma (isto é, sem intervenção humana), o sistema operativo instalado a bordo é o QNX, especialmente indicado para o processamento de várias tarefas em simultâneo e em tempo real, SILVA *et al.* (1999).

2.2 Localização e Navegação

O sistema de controlo responsável pela execução de uma determinada missão requer o conhecimento, em cada instante e com alguma precisão, da posição do veículo no meio subaquático. Para tal, existe um conjunto de faróis acústicos previamente colocados na região de operação, cuja posição é conhecida. O VSA *Isurus* pode localizar-se através da troca de sinais acústicos com esses faróis. O veículo interroga cada um dos faróis a uma dada frequência e estes respondem com um sinal a outra frequência. Medindo o tempo que decorre entre o envio de um sinal e a recepção da resposta, determina-se a distância a cada um dos faróis, o que permite, através de triangulação, estimar a sua posição - MATOS *et al.* (1999), CRUZ *et al.* (2000).

Para além da sua posição no plano horizontal, o VSA determina a sua orientação através de uma bússola digital e a sua profundidade através de um sensor de pressão. O algoritmo de controlo determina o erro na trajectória (10 vezes por segundo) e gera comandos para os actuadores respectivos (ex. rodar os lemes verticais para compensar deslocamentos provocados pela corrente).

2.3 Sensores

Na sua versão actual, o VSA *Isurus* possui um sensor CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*), modelo OS200 da *Ocean Sensors*, EUA. Este sensor é fundamental para a determinação das características hidrológicas de um local, uma vez que para além da medição directa da temperatura e



da condutividade, permite ainda estimar a salinidade, a velocidade do som na água e o sigma-t. O sensor fornece medidas a uma taxa máxima de 12 por segundo, que vão sendo armazenadas no disco rígido existente no interior do veículo. As características deste sensor encontram-se resumidas no Quadro 1. O VSA possui ainda um altímetro da empresa *Imagenex*, Canadá, que permite medir a distância ao fundo. Juntamente com os dados provenientes do sensor de pressão, é possível determinar a altura da coluna de água num dado local.

Quadro 1

Características dos valores obtidos pelo sensor CTD OS200:

PARÂMETRO	UNIDADES	INTERVALO DE VARIAÇÃO	EXACTIDÃO	RESOLUÇÃO (MELHOR QUE)
Conductividade	mS/cm	0.5 a 65	0.02%	0.001%
Temperatura	graus C	-2 a 35	0.01°C	0.001°C
Pressão	DBar	0-100	0.50DBar	0.005DBar
Salinidade	PSU	1 a 45	0.03PSU	0.001PSU

Actualmente, está a ser instalada uma câmara subaquática e um sistema de armazenamento digital das imagens recolhidas.

Para além destes sensores, estes veículos podem ser facilmente reconfigurados para transportar e registar dados de uma vasta gama de outros sensores. Os exemplos mais importantes para a monitorização ambiental incluem ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), que fornece um perfil de medidas da corrente a diferentes profundidades da coluna de água; fluorímetro, que mede a clorofila; sensor de oxigénio dissolvido; sensor óptico de difracção (OBS - *Optical BackScatter*); e sonares laterais.

2.4 Procedimentos de Operação

A execução de uma missão com este VSA engloba 4 etapas fundamentais:

1. **“Setup” operacional.** Chegados à região de operação é necessário determinar, de acordo com as características batimétricas, o local apropriado para a colocação dos faróis acústicos. Após a fixação das bóias de sinalização, tendo em vista a sua recolha posterior e as características da missão, determina-se a sua localização exacta, utilizando um *GPS* diferencial ou por triangulação a referências naturais.
2. **Programação da missão.** Determina-se o percurso que o veículo vai efectuar e especifica-se a missão a ser desempenhada através da selecção de um conjunto de manobras e tarefas pré-definidas. Nesta altura, o veículo encontra-se ligado por um cabo a um computador (normalmente, um computador portátil) através do qual é efectuado um diagnóstico inicial.
3. **Execução da missão.** Uma vez desligado do computador de apoio, o VSA é colocado na zona inicial da missão, de onde parte. No final da missão, o veículo volta à superfície, de onde é recolhido.

4. Análise da missão. O cabo é novamente ligado entre o computador e o veículo, para transferir os dados que foram armazenados.

Deve-se realçar que apesar de ser possível comunicar em ambientes subaquáticos através de ondas sonoras, os dispositivos que o permitem têm um custo muito elevado e uma taxa de transmissão relativamente baixa, pelo que nas utilizações mais vulgares os VSAs cumprem as missões sem qualquer interferência por parte do operador.

2.5 Potenciais aplicações em monitorização ambiental

Os métodos tradicionais para a observação subaquática são geralmente muito dispendiosos e não oferecem uma cobertura satisfatória, sobretudo no cenário actual em que os requisitos de amostragem se tornam cada vez mais exigentes. Os VSAs, por seu lado, podem ser usados de forma eficiente numa vasta gama de aplicações. Quando começaram a ser desenvolvidos, o principal objectivo era a utilização para fins militares, nomeadamente em operações de desminagem perto da costa. Posteriormente, a colocação destas tecnologias ao dispor da comunidade científica permitiu um alargamento do espectro de utilização à realização de estudos em diversas áreas (climatologia, oceanografia, geologia marítima, etc.). Actualmente, a relativa facilidade de utilização, associada à sua capacidade de recolha de grandes quantidades de informação a diferentes profundidades e com rapidez, torna-a uma tecnologia de vanguarda em diversos tipos de operações, nomeadamente ao nível da monitorização ambiental e da gestão de recursos subaquáticos.

No que diz respeito à utilização de VSAs para monitorização ambiental, podem-se destacar as conclusões retiradas do projecto "Definição de Missões de Monitorização Ambiental para a Operação de Veículos Submarinos Autónomos ao Largo de Portugal" (Projecto PEAM/P/TAI/254/93), financiado pelo Programa Praxis XXI ao abrigo do protocolo JNICT/Direcção Geral do Ambiente, PEREIRA F. L (1996-2000). O principal objectivo deste projecto consistia na identificação de um conjunto de missões de monitorização ambiental que pudessem ser realizadas por VSAs ao largo de Portugal de forma mais eficiente do que com as tecnologias tradicionais. Através da análise dos requisitos dos potenciais utilizadores (nomeadamente pela realização de inquéritos) e do conhecimento das restrições tecnológicas associadas à utilização de VSAs, foi possível definir um conjunto de missões que se pode dividir em dois grandes grupos: amostragem ao longo de percursos pré-definidos e amostragem adaptativa. No primeiro caso, os veículos são usados como plataformas sensoriais providas de mecanismos de movimentação autónoma, recolhendo dados relevantes num percurso pré-determinado. No segundo, os veículos adaptam dinamicamente o seu movimento de acordo com os dados oceanográficos que vão sendo recolhidos.

Do conjunto de missões de potencial aplicação ao largo de Portugal, destacam-se as seguintes:

- Monitorização de Zonas Envolventes a Emissários Submarinos
- Controlo de Dispersão de Poluentes no Oceano Costeiro
- Pesquisa do Fenómeno de Afloramento Costeiro
- Concentração de Clorofila e Calibração de Dados de Satélite



- Acompanhamento da Massa de Água Mediterrânica
- Delimitação de Plumas Turbidas
- Estudo de Fontes Hidrotermais nos Açores
- Factores Ambientais que Afectam o Recrutamento de Espécies em Estuários
- Batimetria de Região de Grande Variabilidade
- Localização de Destroços Submersos
- Estudo da Dinâmica de Estruturas Sedimentares
- Inspeção Visual Subaquática

2.6 Experiência relevante

No caso do LSTS, o VSA *Isurus* tem sido utilizado desde 1998 para caracterizar o ambiente subaquático do estuário do rio Minho (Figura 2), de acordo com os requisitos de oceanógrafos e biólogos marinhos do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS) - PEREIRA *et al.* (1996). Estas missões destinam-se a estudar a parte final do rio, desde Seixas até à foz, nomeadamente no que diz respeito aos padrões de circulação associados ao avanço e recuo da cunha salina com a maré, sua extensão e magnitude, variações térmicas horizontais e verticais e estratificação vertical. A grande variabilidade espaço-temporal dos dados oceanográficos deste ambiente estuarino, caracterizado por fortes correntes de baixa e subida de maré que reflectem fortes gradientes, nomeadamente de salinidade e temperatura, tornam a utilização deste veículo a forma de recolha de dados mais eficiente. Por outro lado, foi ainda possível utilizar o VSA para cartografar o fundo do rio, obtendo-se cartas batimétricas da zona de estudo - CRUZ *et al.* (1998,1999).



Figura 2 - Preparativos para missão no estuário do rio Minho

Um cenário de aplicação mais recente é a albufeira da barragem de Crestuma-Lever, no Rio Douro, onde se está a utilizar o VSA *Isurus* para avaliar as condições de erosão e sedimentação provocadas pela existência da barragem, através de batimetria de precisão, assim como para determinar a influência da central termoeléctrica da Tapada do Outeiro.

Num futuro próximo pretende-se utilizar a câmara de vídeo a bordo do VSA para a obtenção de imagens em regiões de difícil acesso para mergulhadores. Um dos exemplos em que se perspectiva a sua utilização consiste na recolha de imagens dos recifes artificiais existentes ao largo da praia da Aguda, em Vila Nova de Gaia.

Um outro cenário em fase avançada de projecto, cuja descrição se detalha mais adiante, consiste na utilização do VSA *Isurus* em actividades relacionadas com exutores submarinos, desde a fase de projecto até à monitorização das descargas de águas residuais.

De resto, esta tecnologia poderá ser também utilizada no estudo de outros sistemas de descarga de efluentes, como sejam, por exemplo, as descargas de águas quentes provenientes de circuitos de refrigeração de centrais térmicas ou unidades industriais.

3 – PERSPECTIVAS PARA O PROJECTO, CONSTRUÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE EXUTORES SUBMARINOS

A tecnologia em apreço poderá ser muito útil nas várias fases relacionadas com o projecto, a construção e a monitorização de exutores submarinos, bem como para o aperfeiçoamento de modelos matemáticos de dispersão de poluentes. Relativamente ao projecto permite, por exemplo, obter elementos batimétricos, informações sobre a natureza dos fundos, as correntes ambientais, perfis de temperaturas, densidades, salinidades, etc. Na fase de construção será de realçar a possibilidade de um melhor acompanhamento das obras que são sendo realizadas. Em termos de monitorização, e para além da análise da qualidade da água e observação de impactos ambientais, faculta ainda a inspecção do estado em que se encontram as obras e a detecção de eventuais avarias, a observação do modo como se processam as descargas, designadamente no que diz respeito ao número de orifícios efectivamente em funcionamento e detecção de eventuais obstruções. Finalmente, todo este acervo de informação pode ser posto ao serviço da ciência para aperfeiçoamento dos modelos de previsão que sirvam de base a projectos futuros, para cuja calibração é extremamente importante a informação recolhida *in situ*.

3.1 Inspeção visual subaquática

Tradicionalmente, a recolha de imagens subaquáticas tem sido efectuada com o auxílio de ROVs e/ou de mergulhadores. No entanto, face às características específicas do caso em análise, a opção por VSAs pode revelar-se mais vantajosa.

A utilização de um ROV para a inspecção dos vários quilómetros da tubagem de um exutor submarino exigiria um sistema de operação mais complexo que o de um VSA. Mais precisamente, este teria de incluir um guincho para a sua colocação na água, um cabo de ligação ao operador, sistema de controlo e geradores de energia, entre outros requisitos, carecendo de uma embarcação de dimensão apreciável. Refira-se ainda que a grande extensão da área a cobrir, eventualmente associada a

condições oceanográficas adversas, poderia prolongar as operações por vários dias, implicando um custo ainda mais elevado, para além da dificuldade de correlação temporal dos dados obtidos.

A ausência de ligação física com o operador durante a execução da operação, inerente à utilização de VSAs, tem alguns inconvenientes, nomeadamente a impossibilidade de interpretação e actuação em tempo real. No entanto, a facilidade de operação do VSA *Isurus*, possibilitando o reajuste e re-execução das missões face aos objectivos propostos, ultrapassa em larga medida esta desvantagem. Além disso, este veículo pode ser dotado de um controlo adaptativo face aos dados, imagens e parâmetros oceanográficos que vão sendo obtidos.

No caso da operação ser efectuada por mergulhadores, apesar da possibilidade de obtenção de imagens bastante próximas da estrutura, a vulnerabilidade face às condições ambientais, bem como a dificuldade de localização devida à fraca visibilidade, condicionam esta solução como opção de rotina. As dificuldades tornam-se ainda mais notórias se considerarmos uma inspecção à tubagem completa.

3.2 Avaliação da qualidade das águas nos meios receptores

O VSA *Isurus* já está equipado de sensores de observação CTD (para obtenção de dados de temperatura, salinidade e densidade) e de altímetro mas, conforme já referido, é relativamente fácil ampliar a gama de sensores oceanográficos e químicos. No caso em análise, serão particularmente úteis sensores para a determinação do teor de oxigénio dissolvido, partículas em suspensão, pH, nitratos e fosfatos. Está a ser igualmente ponderada a incorporação de um sistema de recolha de amostras de água em pequenos recipientes, para sua análise em laboratório, designadamente em termos bacteriológicos.

A versatilidade operacional, aliada às possibilidades tecnológicas enunciadas, permitem um acompanhamento mais frequente da situação ambiental, podendo mesmo tornar-se um sistema de monitorização de rotina.

3.3 Estudo dos mecanismos de dispersão de poluentes

A possibilidade da obtenção contínua de grande quantidade de dados correlacionados espaço-temporalmente é reconhecida como excelente oportunidade e desafio para a modelização matemática de fenómenos de dispersão - ROBERTS (1992, 1995). A integração em tempo real dos dados provenientes da amarração fixa de um *ADCP* e um *termistor* no modelo RSB (ROBERTS *et al.*, 1989a, b, c) representou um avanço significativo, mas deve salientar-se que esses dados dizem respeito a um determinado ponto na zona da descarga, proporcionando, portanto, uma cobertura muito limitada.

O VSA *Isurus* permite uma ampla cobertura espacial, nomeadamente em termos de densidades, (determinadas por inferência a partir da condutividade), temperatura, pressão e salinidade, fornecidos pelo CTD, podendo ainda incorporar outros sensores, conforme se atrás se referiu. Esta informação, conjugada com a intensidade e direcção das correntes, determinadas a partir dos dados de controlo do veículo ou de um *ADCP*, associados à altura da coluna de água (dada pelo altímetro e pela profundidade do veículo), conferem bastante interesse a esta solução.

A utilização *a priori* de um modelo matemático do comportamento da descarga permite determinar a área onde a missão irá ser desenvolvida, apoiando simultaneamente a definição de uma estratégia de recolha de dados.



Após a execução da missão a informação obtida poderá ser usada para validar o modelo utilizado, permitir o ajuste de parâmetros alteráveis, ou mesmo catalisar futuros desenvolvimentos na modelização matemática dos fenómenos de dispersão de poluentes.

3.4 Perspectivas próximas

Em colaboração com outras entidades, o LSTS está a desenvolver diligências para a realização experimental de campanhas de monitorização de exutores submarinos. Uma das situações diz respeito ao exutor de Vila Nova de Gaia, localizado a sul da praia de Salgueiros. O exutor tem 2192 metros de comprimento, rematando por um difusor com 126 m provido de 26 orifícios com 0.10 m de diâmetro, previsto para um caudal máximo de 0.695 m³/s. Numa segunda fase, quando o sistema de saneamento do concelho estiver concluído, pensa-se aumentar o comprimento do difusor para 196 m e totalizar 40 orifícios com o mesmo diâmetro, com vista a um débito máximo de 1.080 m³/s. Os orifícios difusores apresentam um espaçamento aproximado de 5m, orientando a descarga alternadamente com ângulos de 30° e 150°, à excepção do primeiro e do último, que se encontram no topo do tubo. A descarga processa-se à cota -17.8 m em relação ao zero hidrográfico.

Actualmente, dado que a rede de saneamento ligada ao exutor está ainda longe da expressão final, as descargas, comandadas por uma câmara de carga, cifram-se em cerca de 0.024 m³/s durante períodos de 4 minutos, funcionando apenas 3 orifícios.

O acompanhamento da situação tem sido feito com auxílio de mergulhadores que inspeccionam o estado e modo de funcionamento das obras, registam imagens subaquáticas e elaboram o respectivo relatório.

Outro caso com interesse diz respeito ao exutor submarino de Matosinhos, localizado na zona do Cabo do Mundo, a Norte do farol da Boa Nova (Figura 3).



Figura 3 – Exutor submarino de Matosinhos

Este emissário tem um comprimento total, a partir da câmara de carga, de cerca de 2750 metros, dos quais os primeiros 600 m, com um diâmetro de 1600 mm, foram instalados em túnel escavado nos fundos marinhos. A restante tubagem, já pousada no fundo, apresenta um diâmetro de 1200 mm (1788

m), rematando por um difusor de jactos múltiplos com menor calibre. A parte inicial do exutor tem uma orientação perpendicular à costa, desviando-se para SW na zona do difusor, que faz um ângulo de 45° com o troço recto do exutor.

O difusor tem 320 metros de extensão e está provido de 40 orifícios espaçados de 8 m, com um diâmetro de 0.11 m. O seu diâmetro começa em 1200 mm (160 m), passando depois a 800 mm (80 m) e 450 mm (80 m) com, respectivamente, 20, 10 e 10 orifícios a uma altura de 0.85 m, 0.90 m e 0.95 m. A descarga processa-se a uma profundidade de 27 metros.

Em Janeiro de 1999 o caudal médio, em descarga contínua, era de 0.08 m³/s estando em funcionamento 20 orifícios. De acordo com o projecto o caudal de ponta poderá vir a atingir 6 208 m³/h, esperando-se um volume médio de 82 298 m³/dia.

A monitorização da descarga, feita semestralmente, inclui medições *in-situ* de parâmetros como a salinidade, temperatura, oxigénio dissolvido e pH, em determinados pontos fixos em volta do difusor e a três profundidades diferentes: à superfície, a meio da coluna de água e no fundo, na maré alta e na maré baixa. Simultaneamente, são recolhidas nestes pontos amostras de água para análise bacteriológica em laboratório.

4 – CONCLUSÃO

Os Veículos Submarinos Autónomos constituem uma tecnologia de vanguarda para diversas operações. Estudos de viabilidade já realizados pelo Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto permitem que, tendo exclusivamente em atenção o caso português e os domínios do ambiente e dos recursos hídricos, seja possível inventariar a série de exemplos que se apresenta em 2.5. Inclusivamente, o LSTS já passou à acção concreta nalguns casos, como sejam os trabalhos realizados no estuário do Rio Minho e na albufeira da Barragem de Crestuma-Lever.

Conforme se justificou, a utilização desta tecnologia oferece perspectivas muito promissoras em actividades relacionadas com os exutores submarinos para descarga de águas residuais, as quais vão desde o projecto e construção, até à inspecção das obras, monitorização da qualidade da água, observação dos impactos ambientais e validação de modelos de dispersão de poluentes.

Finalizando, caberá referir que uma metodologia similar poderá ser adoptada para outros casos de descarga de efluentes, como sejam, por exemplo, águas quentes provenientes de circuitos de refrigeração de centrais térmicas ou unidades industriais.

5 - BIBLIOGRAFIA

ALT C.; ALLEN B.; AUSTIN T.; STOKEY R. – "Remote Environmental Measuring Units", in *Proceedings of the Autonomous Underwater Vehicle's 94 Conference*, Cambridge, MA (USA), July 1994, pp. 13-19.

CRUZ, N.; MATOS A.; MARTINS, A.; SILVA, J.; SANTOS, D. – "Recolha de dados Oceanográficos com um Veículo Submarino Autónomo", em *Actas do II Simpósio Ibérico sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Minho*, Melgaço (Portugal), Novembro 1998.



CRUZ, N.; MATOS A.; MARTINS, A.; SILVA, J.; SANTOS, D.; BOUTOV, D.; FERREIRA, D.; PEREIRA, F. L. – "Estuarine Environment Studies with Isurus, a REMUS Class AUV", in *Proceedings of the MTS/IEEE Oceans'99*, Seattle (USA), Sept. 1999.

CRUZ, N.; MATOS A.; MARTINS, A.; RAMOS, P.; PEREIRA, F. L. – "An Advanced Low Cost Navigation System for the Isurus AUV", to be presented in *MTS/IEEE Oceans'2000*, Providence, Rhode Island (USA), 11-14 Sept. 2000.

CURTIN, T.; BELLINGHAM J.; CATIPOVIC J.; WEBB D. – "Autonomous Oceanographic Sampling Networks". *Oceanography*, Vol. 6, No. 3, 1993, pp. 86-94.

MATOS A.; CRUZ, N.; MARTINS, A.; PEREIRA, F. L. – "Development and Implementation of a Low-Cost LBL Navigation System for an AUV", in *Proceedings of the MTS/IEEE Oceans'99*, Seattle (USA), Sept. 1999.

NEVES, A. e NEVES, M. – "Descarga de Águas Residuais no Mar. Exutores Submarinos" in *Proceedings I Encontro de Engenharia Civil Ibero-Americana*, Caceres, Espanha, 1992 e *Revista da Ordem dos Engenheiros*, AnoVII, nº 62.

PEREIRA F. L.; SOUSA J. B.; MARTINS C. G.; SILVA E. P. – "AUV System Requirements for Coastal Oceanography", in *Proceedings of the IEEE AUV'96 Conference*, Monterey, CA (USA), June 1996, pp. 399-406.

PEREIRA F. L. – Relatórios de Progressão de Execução Técnica, Projecto PEAM/P/TAI/254/93, JNICT/DGA, 1996-1999.

ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls I: Submerged Wastefield Formation", *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. 115, No. 1, 1989a, pp. 1-25.

ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield", *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. 115, No. 1, 1989b, pp. 26-48.

ROBERTS P.J.; SNYDER W. H.; BAUMGARTNER D. J. – "Ocean Outfalls III: Effect of Difuser Design on Submerged Wastefield", *J. Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. 115, No. 1, 1989c, pp. 49-70.

ROBERTS, P. J. W.; WILLIAMS, N. – "Modeling of Ocean Outfall Discharges", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 25, No. 9, 1992, pp. 155-164.

ROBERTS, P. J. W. – "Near-Field Modeling of the Mamala Bay Outfalls". *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 32, No. 2, 1995, pp. 159 - 166.

SILVA, J.; MARTINS, A.; PEREIRA, F. L. – "A Reconfigurable Mission Control System for Underwater Vehicles", in *Proceedings of the MTS/IEEE Oceans'99*, Seattle (USA), Sept. 1999.