

MISSÕES DE MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL UTILIZANDO O VEÍCULO SUBMARINO
ISURUS

Ricardo Teixeira⁽¹⁾, Rui Gomes⁽¹⁾, Sérgio Fraga⁽¹⁾, Nuno Cruz⁽¹⁾,
Patrícia Ramos^(1,2), Aníbal Matos⁽¹⁾, Jorge Estrela⁽¹⁾, Fernando Lobo Pereira⁽¹⁾
{rvt, rgomes, slfraga, nacruz, patricia, anibal, jes, flp}@fe.up.pt

⁽¹⁾*Instituto de Sistemas e Robótica – Porto*
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (URL: <http://www.fe.up.pt/~lsts/>)
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal, Tel.: 225081539, Fax: 225081440

⁽²⁾*Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto - Instituto Politécnico do Porto, Rua
Padre Costa, 4465-111 S. M. de Infesta Porto, Portugal, Tel.: 229050000, Fax: 229025899*

RESUMO

Os Veículos Submarinos Autónomos (VSAs), pela ausência de ligação física com o exterior, têm relativa facilidade de operação e capacidade de recolha de grandes quantidades de dados, de natureza muito diversa, a diferentes profundidades e com grande rapidez, constituindo uma tecnologia de vanguarda para monitorização ambiental e gestão de recursos subaquáticos.

O presente artigo começa por descrever o VSA *Isurus* do 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 existentes e os 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 já executadas, nomeadamente no estuário do Rio Minho e no Rio Douro.

ABSTRACT

Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) are very easy to operate because of the absence of a physical connection with the exterior. This property brings few costs of operation and provides a simple way to collect a great amount of data, at different depths and with great speed, and therefore constitutes an interesting technology for environmental data acquisition and underwater resources administration.

The present article starts by describing *Isurus*, the AUV from the Systems and Underwater Technology Laboratory of the School of Engineering of Porto University, its on board computational system, the positioning and navigation system, the sensors installed in the vehicle and others that can be incorporated, as well as operational procedures.

We also refer possible application examples in the areas of the environment and hydric resources, as well as missions already executed with *Isurus*, in the estuary of Minho river and in Douro river .

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto foi estabelecido em 1996 e agrega investigadores do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da FEUP e do Pólo do Porto do Instituto de Sistemas e Robótica (ISR).

Este Laboratório explora as relações sinérgicas entre os desenvolvimentos mais recentes da Engenharia da Decisão e Controlo e da Tecnologia Subaquática. Procura desta forma, a concepção e implementação de abordagens inovadoras à observação oceanográfica e ambiental, bem como o desenvolvimento de tecnologias para a inspecção de infra-estruturas subaquáticas, nomeadamente em portos, rios e albufeiras.

Neste artigo apresentam-se os últimos desenvolvimentos do Veículo Submarino Autónomo (VSA) *Isurus*. Este veículo, de fácil operação, é particularmente indicado para a recolha de dados oceanográficos em águas costeiras, rios e estuários.

Na secção 2 é brevemente descrito o VSA *Isurus*. Nas secções 3 e 4 apresentam-se duas missões efectuadas com este veículo, a primeira no estuário do Rio Minho e a segunda na albufeira de Crestuma-Lever.

Finalmente, são dispostas algumas perspectivas de desenvolvimento do veículo bem como missões a realizar brevemente na orla costeira.

2. VSA ISURUS

A colaboração com a Woods Hole Oceanographic Institution, dos EUA [1], envolveu, em 1996, a aquisição do VSA *Isurus* (Figura 1), um veículo da classe REMUS (Remote Environment Measuring UnitS), que constitui uma das mais avançadas plataformas de operação subaquática. Estes veículos têm o corpo central de forma cilíndrica, com cerca de 1,5m de comprimento e 20cm de diâmetro. O seu peso no ar é de cerca de 30kg e na água é nulo, podendo operar até à profundidade máxima de 200m.

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.

Atendendo às suas características, 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.

O desenvolvimento que tem sido efectuado no LSTS consiste na integração de sensores oceanográficos adequados às missões realizadas, na programação do sistema computacional de bordo e na implementação de um sistema integrado de navegação e de acompanhamento da sua posição em tempo real (a partir de uma estação de monitorização localizada em terra).

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. Com as baterias de baixo custo actualmente instaladas e com condições ambientais razoáveis, o veículo tem uma autonomia

para cerca de 10-12 horas à velocidade nominal de 2-3 nós, ou seja, é possível percorrer 30 milhas marítimas (cerca de 56 km).

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 num disco duro.

2.2 Localização e Navegação

O sistema de controlo responsável pela execução de uma determinada missão requer, em cada instante, o conhecimento 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 [2].

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 e a velocidade do som na água. O sensor fornece medidas a uma taxa máxima de 12 por segundo, que vão sendo armazenadas no disco rígido existente no interior do veículo. O VSA possui ainda um altímetro 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.

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 o ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), que fornece o 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:

“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.

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.

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.

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

Deve realçar-se 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 muito baixa, pelo que, nas utilizações mais vulgares, os VSAs cumprem as missões sem qualquer intervenção por parte do operador.

3. MISSÃO NO RIO MINHO

O VSA *Isurus* tem sido utilizado desde 1998 em estudos de caracterização do ambiente subaquático do estuário do rio Minho (Figura 2). Estes estudos, realizados em cooperação com oceanógrafos e biólogos marinhos do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS) [3], têm por objectivo a determinação de 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, tornam a utilização deste veículo uma forma extremamente eficiente de recolha de dados.

As missões realizadas localizaram-se no estuário desde Seixas até à foz. Foram recolhidos dados de condutividade e temperatura a diferentes profundidades, bem como medidas batimétricas, ao longo dos perfis previamente definidos [4], [5].

Na figura 3 apresentam-se exemplos dos mapas de distribuição espacial respectivamente de salinidade e temperatura obtidos com os dados recolhidos.

A figura 4 apresenta a batimetria do fundo numa das áreas estudada.

4. MISSÃO NO RIO DOURO

No Verão de 2000 foram efectuadas algumas missões na albufeira da barragem de Crestuma-Lever, na zona da Central Termoeléctrica da Tapada do Outeiro (figura 5).

O objectivo principal destas missões foi o de avaliar a possibilidade de utilização deste veículo em estudos de impacto ambiental do sistema de refrigeração de centrais termoeléctricas [6], [7].

As missões efectuadas consistiram na recolha de dados de temperatura da água a diferentes profundidades na proximidade do exutor de descarga (figura 6). Foram também recolhidos dados de batimetria do fundo (figura 7).

O sucesso das missões realizadas demonstra as vantagens da utilização destes veículos na recolha de dados para estudos oceanográficos e de impacto ambiental, face aos métodos tradicionais de

observação. De facto, este sistema baseado em VSA's permite a recolha de uma grande quantidade de dados espacialmente distribuídos, a diferentes profundidades e com grande rapidez.

5. MISSÕES EM PERSPECTIVA

Os resultados alcançados com a realização de missões com o VSA Isurus motivaram o interesse de várias instituições na utilização desta tecnologia de observação subaquática.

De entre as utilizações em perspectiva destaca-se a monitorização de descargas de efluentes provenientes de exutores submarinos.

Esta aplicação será brevemente concretizada tendo já sido efectuada uma análise detalhada dos requisitos de operação e dos dados a recolher.

Enquanto o veículo se desloca na área em causa, pode recolher continuamente dados de temperatura, salinidade, condutividade e densidade. Após a realização da missão, uma análise conjunta dos dados permite detectar e mapear tridimensionalmente a pluma proveniente da descarga de efluentes. Estes gráficos, que relacionam os dados hidrológicos obtidos com a localização espacial dos mesmos, são possíveis de elaborar uma vez que o veículo, em cada instante, consegue determinar a posição onde se encontra com uma elevada precisão.

Além da visualização da estrutura da pluma, e da determinação da sua altura máxima de ascensão e espessura, os dados obtidos permitirão ainda o cálculo do valor da diluição proporcionada pelo emissário e conseqüentemente a avaliação do nível de eficiência do seu funcionamento.

A missão de monitorização desenvolvida pelo VSA também permitirá a elaboração de um estudo exaustivo da batimetria do fundo do mar junto à zona do emissário submarino, sendo assim possível detectar eventuais acumulações de areia e sedimentos.

As missões a efectuar consistirão em percorrer trajectórias paralelas e perpendiculares ao difusor, a diferentes profundidades, estando a ser estudada a optimização da forma das mesmas no sentido do aumento de eficiência da aquisição de dados.

As simulações prévias a três dimensões do comportamento da descarga utilizando modelos matemáticos de previsão, de acordo com as condições ambientais previstas para o momento da missão, permitirão delimitar a zona da monitorização e nomeadamente definir o comprimento das trajectórias bem como a resolução necessária para o mapeamento.

6. DESENVOLVIMENTO DO VEÍCULO

As missões de monitorização de exutores submarinos, assim como a utilização do veículo em missões semelhantes às já efectuadas, mas em cenários operacionais distintos, requer o desenvolvimento de novos sistemas a colocar a bordo do veículo ou mesmo a melhoria de algumas das suas capacidades actuais.

Está já em desenvolvimento um novo sistema de navegação do veículo que, para além de permitir um posicionamento mais preciso do veículo, torna possível monitorizar a evolução da sua posição, em tempo real, a partir de uma estação localizada em terra. Pretende-se desta forma contribuir para aumentar a facilidade de operação do veículo bem como a robustez do funcionamento do mesmo. Um dos objectivos em mente é a utilização do veículo por pessoal não especializado na operação do mesmo, mas sim destinatários finais dos dados recolhidos pelo veículo.

Está também em desenvolvimento a inclusão de um sonar de varrimento lateral que permitirá a execução de missões de pesquisa de objectos submersos quando houver necessidade de varrimento de áreas mais largas.

Prevê-se a inclusão no veículo de uma câmara subaquática para a recolha de imagens e de um sistema de armazenamento de imagens a bordo.

Sensores como o sonar de varrimento lateral ou a câmara subaquática necessitam que o veículo tenha um comportamento suave mas também que siga correctamente a trajectória definida, necessitando para tal de um controlo de posição de elevado desempenho. Sendo estes objectivos conflituosos apenas o recurso de avançadas técnicas de controlo permite a obtenção de um compromisso satisfatório.

Para aumentar a autonomia do veículo de modo a permitir realizar missões mais longas está também prevista a inclusão de baterias de tecnologias mais recentes.

7. REFERÊNCIAS

- [1] C. Alt, B. Allen, T. Austin, R. Stokey, “Remote Environmental Measuring Units”, Proceedings of the Autonomous Underwater Vehicle's 94 Conference, Cambridge, MA, USA, 1994, pp. 13-19.
- [2] A. Matos, N. Cruz, A. Martins, F. L. Pereira, “Development and Implementation of a Low-Cost LBL Navigation System for an AUV”, Proceedings of the MTS/IEEE Oceans’99, Seattle, USA, 1999.
- [3] F. L. Pereira, J. B. Sousa, C. G. Martins, E. P. Silva, “AUV System Requirements for Coastal Oceanography”, Proceedings of the IEEE AUV’96 Conference, Monterey, CA, USA, 1996, pp. 399-406.
- [4] N. Cruz, A. Matos, A. Martins, J. Silva, D. Santos, “Recolha de dados Oceanográficos com um Veículo Submarino Autónomo”. Actas do II Simpósio Ibérico sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Minho, Melgaço, Portugal, 1998.
- [5] N. Cruz, A. Matos, A. Martins, J. Silva, D. Santos, D. Boutov, D. Ferreira, F. L. Pereira, “Estuarine Environment Studies with Isurus, a REMUS Class AUV”, Proceedings of the MTS/IEEE Oceans’99, Seattle, USA, 1999.
- [6] P. Ramos, M. V. Neves, N. Cruz, F. L. Pereira, “Perspectivas para a Utilização de um Veículo Submarino Autónomo na Monitorização da Descarga de Águas Residuais”, Actas do 5º Congresso da Água, APRH, Lisboa, 2000.
- [7] P. Ramos, M. V. Neves, N. Cruz, F. L. Pereira, “Outfall Monitoring using Autonomous Underwater Vehicles”, Proceedings of Marine Waste Water Discharges International Conference, MWWD2000, Genova, Italy, 2000.



Figura 1. VSA *Isurus*

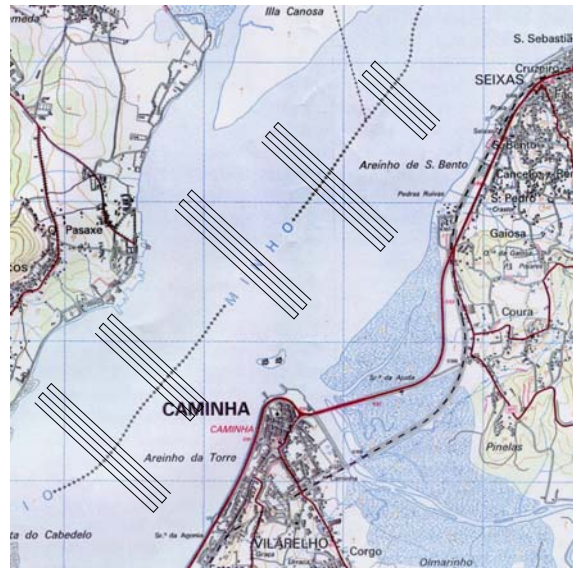


Figura 2. Missões no estuário do rio Minho

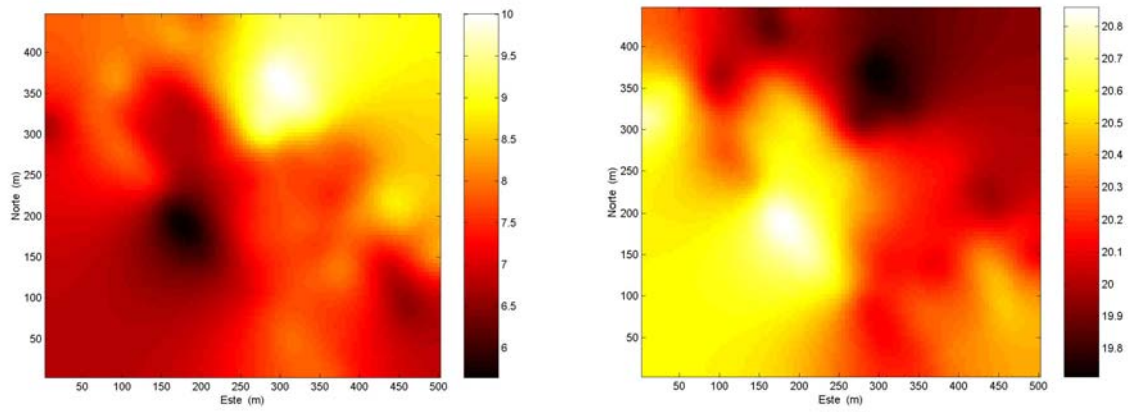


Figura 3. Mapa da distribuição da salinidade (esquerda) e temperatura (direita)

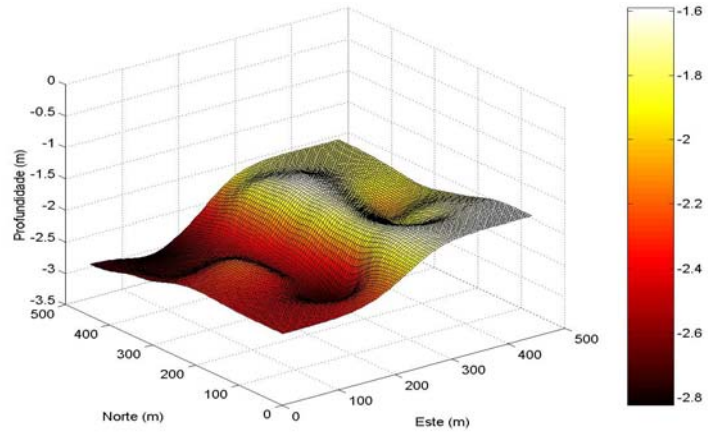


Figura 4. Batimetria da área pesquisada



Figura 5. Lançamento do veículo na água

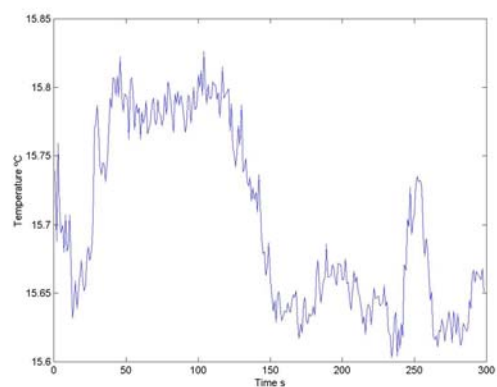
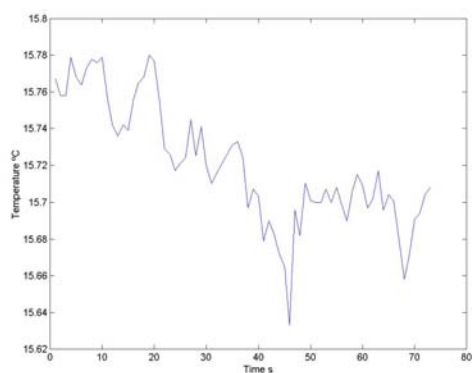


Figura 6. Gráficos de temperatura na zona da descarga

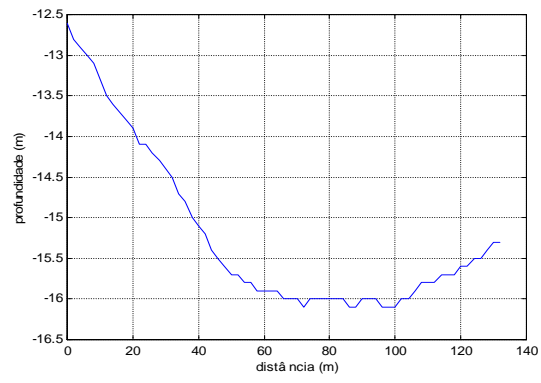


Figura 7. Perfil de batimetria