

**SBRC 2010**  
**Proposta de Minicurso**  
**Redes de Sensores Aquáticas**

**1. Dados de Identificação**

**1.1 Título do minicurso:** Redes de Sensores Aquáticas

**1.2 Autores:**

Luiz Filipe Menezes Vieira, [lfvieira@dcc.ufmg.br](mailto:lfvieira@dcc.ufmg.br)

Antonio Alfredo Ferreira Loureiro, [loureiro@dcc.ufmg.br](mailto:loureiro@dcc.ufmg.br)

Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Ciência da Computação

Caixa Postal 702

30123–970 Belo Horizonte, MG

Telefone: (31) 3409-5860, Fax: (31) 3409-5858

**1.3 Apresentadores:** os autores

**2. Dados Gerais**

**2.1 Objetivos do minicurso.**

O objetivo deste minicurso é apresentar o estado da arte atual em redes de sensores aquáticas, bem como um apanhado geral de trabalhos específicos que ilustram as tendências de pesquisa e os principais desafios da área. Rede de sensores aquática é um tema recente de pesquisa que possui inúmeras aplicações. Para citar apenas algumas temos: monitoramento do meio-ambiente; ajuda em estudos de oceanografia, biologia marítima, aquecimento dos oceanos; interação entre oceanos e atmosfera; previsão sísmica; detecção de poluentes e substâncias contaminantes; e monitoração de campos de gás e petróleo. O desenvolvimento de redes de sensores aquáticas possui desafios importantes. Ondas eletromagnéticas não se propagam por longas distâncias na água. Dessa forma, a pesquisa atual utiliza comunicação acústica que é afetada por uma latência maior na propagação de sinal (a velocidade do som na água é aproximadamente 1500 m/s, cinco ordens de magnitude menor que a velocidade da luz no vácuo), uma largura de banda menor, além de uma taxa alta de bits errados, dentre outras características que dificultam a comunicação e exigem soluções inteligentes. Além

disso, os nós sensores podem se mover com as correntes marítimas, permitindo um monitoramento 4D (espaço e tempo) do ambiente. No entanto, essa mobilidade aumenta a dificuldade no desenvolvimento das redes de sensores aquáticas.

### **Tratamento dado ao tema.**

O trabalho proposto possui perfil teórico e pode ser visto como um apanhado geral de resultados recentes. Pretende-se apresentar o assunto descrevendo inicialmente as redes de sensores aquáticas, os elementos que compõem a rede, o potencial que estas possuem assim como aplicações que podem se beneficiar do desenvolvimento das mesmas. Em seguida, como forma de apresentar as tendências de pesquisa da área, bem como alguns dos principais desafios a serem trabalhados, serão descritos diversos trabalhos realizados sobre temas específicos. Tais trabalhos abordam desde desafios ligados à parte física da comunicação sem fio, até outros relacionados às aplicações, incluindo camada de enlace, roteamento e, localização.

### **Perfil desejado dos alunos.**

Os participantes devem ter conhecimentos básicos de computação móvel e redes de computadores.

## **3. Estrutura prevista do texto**

1. Introdução
2. Redes de Sensores Aquáticas: Estado da Arte e Tendências
3. Camada Física e Propagação de Sinal
4. Camada de Enlace
5. Roteamento
6. Localização e Serviço de Localização
7. Modelo de Mobilidade
8. Aplicações
9. Conclusões
10. Referências Bibliográficas

## **4. Resumo do conteúdo a ser abordado**

### **Introdução (4 páginas)**

Esta seção apresentará de maneira introdutória os assuntos a serem tratados pelo mini-curso: uma breve descrição das redes de sensores aquáticas, bem como exemplos que ilustram o uso dessas redes.

As redes de sensores aquáticas possuem um grande potencial e podem ajudar no avanço de várias disciplinas como oceanografia, biologia marinha e em estudos do clima, aquecimento global, interação dos oceanos e atmosfera, previsão sísmica (tsunamis), arqueologia, na área de saúde detectando poluentes e substâncias contaminantes, e áreas importantes da economia como exploração de gás e petróleo.

Esta seção também discutirá claramente as motivações, desafios e objetivos relacionados com o tema, bem como uma sucinta descrição do conteúdo apresentado pelas demais seções do texto.

### **Redes de Sensores Aquáticas: Estado da Arte e Tendências (4 páginas)**

Esta seção apresentará em detalhes a área de pesquisa envolvida com redes de sensores aquáticas. Espera-se apresentar ao leitor uma descrição aprofundada, destacando-se exemplos práticos de aplicações, características, tendências de pesquisa, como essas redes se diferenciam de redes terrestres dentre outros aspectos.

Trabalhos publicados em importantes veículos de comunicação servirão como base e referência para o texto produzido. Em particular, apresentaremos definições, conceitos, características e particularidades da área de pesquisa em questão. Finalmente, a seção será encerrada com comentários sobre perspectivas de pesquisa para a área. Em particular, serão apresentados breves comentários sobre os trabalhos a serem discutidos nas seções seguintes, com claras indicações sobre as suas principais contribuições.

As seções seguintes apresentarão trabalhos desenvolvidos especificamente para questões particulares de pesquisa, apontando tendências importantes para a área. Uma vez que a abordagem de apresentação escolhida é *bottom-up*, inicialmente serão apresentados trabalhos relacionados com a parte física até aqueles que tratam de aspectos ligados às aplicações.

### **Camada Física e Propagação de Sinal (6 páginas)**

Esta seção descreverá a camada física de redes de sensores aquáticas. A principal diferença das redes de sensores aquáticas para as terrestres é o meio de comunicação. Esse aspecto acaba por influenciar todas as camadas de protocolos, arquitetura de rede e o desenvolvimento das aplicações.

Ondas eletromagnéticas não se propagam por longas distâncias na água. Dessa forma, a pesquisa atual utiliza comunicação acústica que é afetada por uma latência maior na propagação do sinal. A velocidade do som na água é aproximadamente 1500 m/s, cinco ordens de magnitude menor que a velocidade da luz no vácuo, que é aproximadamente 300.000 m/s. Comparada com a comunicação de rádio em redes terrestres, podemos dizer que a largura de banda é menor, a taxa de bits errados é maior, a propagação de sinal sofre com múltiplos caminhos, zonas de sombra, interferência externa, entre outras características que dificultam a comunicação e exigem soluções inteligentes.

Descreveremos o modelo de propagação de sinal utilizado atualmente na literatura e empregado em simuladores.

### **Camada de Enlace (6 páginas)**

O principal objetivo da seção é descrever os desafios e dificuldades na camada de enlace, bem como apresentar os resultados mais recentes nessa área de pesquisa e os protocolos mais recentes. Primeiro será descrito o canal de comunicação. A seguir, são descritos os protocolos baseados em partição: na frequência (FDMA), no tempo (TDMA), e via código (CDMA). Depois serão descritos os protocolos baseados em acesso aleatório como Aloha e CSMA. Finalmente, serão apresentados os protocolos baseados em reserva do meio e escalonamento.

### **Roteamento (6 páginas)**

Pesquisa em roteamento para rede móveis é uma área ativa que possui vários protocolos desenvolvidos. Nesta seção serão descritas as peculiaridades dos protocolos de roteamento para redes de sensores aquáticas. Também serão descritos os desafios em utilizarmos protocolos desenvolvidos inicialmente para redes terrestres, tanto pró-ativos quanto reativos, como, por exemplo, OLSR e AODV. Serão descritas as características do geográfico, que não necessita manter informação sobre o estado de caminhos ou enlaces, ou de troca de mensagens para descobrir e manter rotas. Serão descritos os pré-requisitos para o roteamento geográfico: localização e serviço de localização. Finalmente, serão apresentados os protocolos mais recentes de roteamento para redes de sensores aquáticas.

### **Localização e Serviço de Localização (7 páginas)**

Esta seção descreverá os desafios e métodos desenvolvidos para localização dos nós sensores subaquáticos. Localização é um problema importante que possui inúmeras dificuldades. Por exemplo, o sinal de GPS não propaga debaixo da água. Localização é necessária para se identificar o local dos dados coletados e determinar a posição dos eventos ocorridos na rede. Também é essencial em algoritmos de roteamento geográfico. Serão descritos métodos recentes de localização baseados em veículos autônomos, *beacons* e laser acústico.

O serviço de localização é um dos pré-requisitos do roteamento geográfico e provê para todos os nós da rede, a informação de localização dos demais nós da rede.

Serão descritos métodos hierárquicos, baseados em quorum (um subconjunto de nós) e métodos inspirados na biologia (feromônio).

### **Modelo de Mobilidade (6 páginas)**

Os nós sensores podem se mover com as correntes marítimas, permitindo um monitoramento 4D (espaço e tempo) do ambiente. Observações empíricas sugerem que os nós sensores vão se mover a uma velocidade entre 3 a 6 km/h. Nesta seção será descrito um modelo de mobilidade que permite estudar as características de redes de sensores aquáticas, tais como conectividade, cobertura, e outras como influências da

mobilidade na localização. O modelo de mobilidade é realístico, baseado em medições oceânicas e representado por equações que descrevem o comportamento de fluxos. Além disso, esta seção apresentará os resultados mais recentes em simulação para redes aquáticas que utilizam esse modelo.

### **Aplicações (6 páginas)**

Esta seção apresentará aplicações em redes de sensores aquáticas, voltadas tanto para curto prazo quanto longo prazo. Algumas das áreas que podem se beneficiar do desenvolvimento das redes de sensores aquáticas são: Oceanografia, Biologia marinha, Arqueologia e Segurança. Algumas das aplicações dessas áreas incluem: estudo do aquecimento e da acidez dos oceanos, estudo da interação entre oceanos e atmosferas, compreensão da formação de tsunamis, previsão sísmica, detecção de poluentes, detecção de submarinos e mergulhadores, monitoração de derramamento de substâncias químicas ou óleo.

### **Conclusões (2 páginas)**

Esta seção apresentará os comentários finais sobre o tema, reforçando para o leitor a importância da área de pesquisa apresentada no mini-curso. Os autores descreverão suas expectativas finais sobre redes de sensores aquáticas, indicando a perspectiva de crescimento e utilização da mesma nos próximos anos. Também serão apresentadas projeções futuras para cada um dos trabalhos descritos na seção acima, bem como em outros temas de pesquisa importantes relacionados ao assunto.

### **Referências Bibliográficas (4 páginas)**

## 5. Bibliografia principal a ser utilizada na preparação do mini-curso

- Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, and Tommaso Melodia. “Underwater acoustic sensor networks: research challenges.” *Ad Hoc Networks*, 2(3):257–279, March 2005.
- L. M. Brekhovskikh and Y. Lysanov. *Fundamentals of Ocean Acoustics*. 2003.
- Cecilia Carbonelli and Urbashi Mitra. “Cooperative multihop communication for underwater acoustic networks.” In *WUWNet '06*, pp. 97–100, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- D. Pompili and T. Melodia. “Three-dimensional routing in underwater acoustic sensor networks.” In *PE-WASUN '05: Proc. of the 2nd ACM Int. workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks*, pp. 214–221, Montreal, Quebec, Canada, 2005.
- D. Pompili, T. Melodia, and I. F. Akyildiz. “Routing algorithms for delay-insensitive and delay-sensitive applications in underwater sensor networks.” In *MobiCom '06*, pp. 298–309, Los Angeles, CA, USA, 2006.
- T. Rappaport. *Principles of Underwater Sound*. 1983.
- J. Kong, Jun-Hong Cui, D. Wu, and M. Gerla. “Building Underwater Adhoc Networks and Sensor Networks for Large Scale Real-time Aquatic Applications.” In *IEEE MILCOM'05*, Atlantic City, NJ, Oct. 2005.
- L. Freitag, M. Grund, S. Singh, J. Partan, P. Koski, and K. Ball. “The WHOI micro-modem: an acoustic communications and navigation system for multiple platforms.” pp. 1086–1092 Vol. 2, Sept. 2005.
- Roland Flury and Roger Wattenhofer. “Randomized 3D Geographic Routing.” In *INFOCOM'08*, Phoenix, AZ, Apr. 2008
- Jules Jaffe and Curt Schurgers. “Sensor Networks of Freely Drifting Autonomous Underwater Explorers.” In *WUWNet'06*, Los Angeles, CA, Sep. 2006.
- D. Makhija, P. Kumaraswamy, and R. Roy. “Challenges and Design of Mac Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks.” In *4th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, pp. 1–6, Boston, Massachusetts, USA, 03-06 April 2006.
- Dragos Niculescu and Badri Nath. “Trajectory Based Forwarding and Its Applications.” In *MOBICOM'03*, San Diego, CA, 2003.
- J. C. Ohlmann, P. F. White, A. L. Sybrandy, and P. P. Niiler. “GPS-Cellular Drifter Technology for Coastal Ocean Observing Systems.” *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22:1382–1388, 2005.
- Dario Pompili and Ian F. Akyildiz. “A Cross-layer Communication Solution for Multimedia Applications in Underwater Acoustic Sensor Networks.” In *Proc. of IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS)*, Atlanta, GA, October 2008.
- J. Pedlosky. *Ocean Circulation Theory*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1996.
- J. Partan, J. Kurose, and B. N. Levine. “A survey of practical issues in underwater networks.” In *WUWNet'06*, pp. 17–24, Los Angeles, CA, USA, 2006

E as principais publicações dos autores na área.

## **Curriculum Vitae dos Autores**

**Luiz Filipe Menezes Vieira.** Cursa pós-doutorado na Universidade Federal de Minas Gerais. Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004), mestrado em Ciência da Computação pela University of California Los Angeles (2007), e doutorado em Ciência da Computação pela University of California Los Angeles, Estados Unidos (2009). Sua tese de doutorado “Underwater SEA Swarm” foi na área de redes de sensores aquáticas. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Redes de Computadores, atuando principalmente nos seguintes temas: comunicação sem fio, otimização, redes de sensores sem fio, roteamento oportunístico, codificação em rede, algoritmos inspirados na biologia, localização. O autor possui experiência apresentando minicurso no SBRC.

**Antonio Alfredo Ferreira Loureiro.** Possui graduação e mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais e doutorado em Ciência da Computação pela University of British Columbia, Canadá. Atualmente é professor titular do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais. É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq nível 1C. Já apresentou vários minicursos e tutoriais em conferências nacionais e internacionais. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em sistemas distribuídos, atuando principalmente nos seguintes temas: algoritmos distribuídos, computação móvel/ubíqua, comunicação sem fio, redes de computadores, redes de sensores sem fio.

## **Principais Publicações dos Autores na Área**

- “Underwater SEA Swarm”, Luiz Filipe M. Vieira, PhD Dissertation, UCLA, 2009, Los Angeles, CA.
- Pressure Routing for Underwater Sensor Networks, Uichin Lee, Paul Wang, Youngtae Noh, Luiz F. M. Vieira, Mario Gerla, Jun-Hong Cui, INFOCOM 2010, San Diego, CA March 2010.
- Phero-Trail: a Bio-inspired Location Service for Mobile Underwater Sensors, IEEE J-SAC Special Issue Bio-inspired, Luiz F. M. Vieira, Uichin Lee, Mario Gerla, to be published in 2010.
- SewerSnort: A Drifting Sensor for In-situ Sewer Gas Monitoring, Jihyoung Kim , Jung Soo Lim , Jonathan Friedman , Uichin Lee , Luiz Vieira , Diego Rosso , Mario Gerla , Mani B Srivastava, SECON 2009, Rome, Italy June 2009.
- Phero-Trail: a Bio-inspired Location Service for Mobile Underwater Sensors Luiz Vieira, Uichin Lee, Mario Gerla, WUWNET 2008, San Francisco, CA.
- Multi Stage Underwater Sensor Localization using Mobile Beacons, Melike Erol, Luiz Vieira, Antonio Caruso, Francesco Paparella, Mario Gerla, SENSORCOMM 2008, France.

- The Meandering Current Mobility Model and its Impact on Underwater Mobile Sensor Networks, Antonio Caruso, Francesco Paparella, Luiz Vieira, Melike Erol, Mario Gerla, INFOCOM 2008, Phoenix, AZ.
- Localization with Dive'N'Rise (DNR) Beacons for Underwater Acoustic Sensor Networks, Melike Erol, Luiz Filipe M. Vieira, Mario Gerla, International Workshop on UnderWater Networks (WUWNet), September 2007, Montreal, Quebec, Canada.
- AUV-Aided Localization for Underwater Sensor Networks, Melike Erol, Luiz Vieira, Mario Gerla, International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications (WASA), August 1-2, 2007, Chicago, IL, USA.
- Analysis of Aloha Protocols for Underwater, Luiz Filipe Vieira, Jiejun Kong, Uichin Lee, Mario Gerla, The First ACM International Workshop on UnderWater Networks (WUWNet) in conjunction with ACM MobiCom 2006, Los Angeles, Poster.