

Plataforma Autônoma para Monitoração Hídrica

Francisco Lima[‡], Lucas B. Silva[†], Rafael Antonio[‡], Luiz F. M. Vieira[‡],
José Augusto M. Nacif[†], Marcos A. M. Vieira[‡]

[†]Universidade Federal de Viçosa, Campus UFV-Florestal
Florestal, MG, Brasil, 35690-000

Email: {lucas.braganca, jnacif}@ufv.br

[‡]Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, MG, Brasil 31270-901

Email: {francisco.lima,rafael.antonio,lfvieira,mmvieira}@dcc.ufmg.br

Resumo—A maior parte do planeta Terra é composto por água. Oceanos, rios, lagos são essenciais para a vida neste planeta. O monitoramento desses ambientes ajuda na preservação de ecossistemas, prevenção de desastres ambientais e também no controle de pragas em reservatórios de água doce. O monitoramento de ambientes aquáticos é realizado com ajuda de redes de sensores aquáticos. Neste artigo é apresentado a plataforma flutuante, parte da rede responsável por controlar, posicionar e monitorar os nós sensores. A plataforma flutuante é composta por quatro partes principais: mecânica, elétrica, eletrônica e computacional. A parte mecânica projetada para suportar o peso dos componentes da rede, como baterias, cabos e placas, possui um tamanho reduzido facilitando no transporte e manutenção. A parte elétrica composta por baterias e cabos é responsável por alimentar os motores e as placas eletrônicas. A parte eletrônica composta por uma placa projetada para atender ao projeto possui periféricos como microcontrolador, relógio de tempo real e suporte a cartão de memória. A parte computacional é a inteligência do sistema, que controla o sistema como um todo. Também são apresentados detalhes do funcionamento geral da plataforma em conjunto com um nó sensor HydroNode.

I. INTRODUÇÃO

Redes de Sensores Aquáticos é uma importante área de pesquisa que vem atraindo crescente interesse, tanto de pesquisadores quanto da indústria. Lagos, rios e oceanos são cruciais para a vida no nosso planeta e monitorar estes ambientes é uma tarefa cara e difícil. As Redes de Sensores Aquáticos são compostas de nós sensores que possuem capacidade de comunicação [1]. Assim, existem diversas aplicações para as Redes de Sensores Aquáticos, tais como: preservação do ecossistema, prevenção contra catástrofes, exploração de petróleo e manutenção de reservatórios de água [1]–[3].

Em oceanografia, por exemplo, uma Rede de Sensores Aquáticos pode realizar a amostragem do relevo costeiro, para obter informações que permitam a predição das características deste ambiente. Os dados coletados podem servir para evitar possíveis riscos à navegação e auxiliá-la [4]. Além disso, como utilidade militar, uma Rede de Sensores Aquáticos pode ser aplicada para, por exemplo, identificação de submarinos, permitindo prever eventuais ataques [5] e ajudar na localização de minas submersas. As Redes de Sensores Aquáticos podem também beneficiar a indústria, no monitoramento e controle de tubulações aquáticas ou de máquinas de pesca [6]. Por fim, as Redes de Sensores Aquáticos podem auxiliar também o setor energético, como um novo sistema de medição. Um exemplo prático de aplicação favorável ao setor energético é

a detecção do mexilhão dourado, um molusco chinês, cuja infestação atinge as usinas hidrelétricas brasileiras, podendo causar sérios prejuízos [7].

Neste artigo apresentamos a plataforma flutuante que torna o uso do nó sensor ainda mais automatizado, ou seja, facilita o seu uso e aumenta a sua aplicação. O objetivo do projeto é preencher a lacuna existente na área de Redes de Sensores Aquáticos, na qual, não há produtos que são, ao mesmo tempo, de baixo custo e consumo energético, compatível com diversos tipos de sensores e didaticamente disponível. O projeto proposto é constituído por 4 componentes, que são: parte mecânica, parte elétrica, parte eletrônica e parte computacional. As principais contribuições deste artigo são:

- 1) Descrição de um projeto eficiente energeticamente e de baixo custo, com diversas aplicações reais na área de Redes de Sensores Aquáticos.
- 2) Desenvolvimento de uma estrutura que permite o deslocamento vertical de um nó sensor.
- 3) Desenvolvimento de um sistema computacional que automatiza a coleta de dados para monitoração hídrica, reduzindo custos, aumentando a eficiência na coleta de dados e potencialmente levando a novas aplicações (ex: coleta quase em tempo real de variáveis dinâmicas).
- 4) Resultados do sistema computacional.

O restante deste artigo é estruturado da seguinte forma: A seção II apresenta os trabalhos relacionados. A seção III apresenta o sistema computacional e seus componentes são descritos. Na seção IV os resultados são apresentados e discutidos. Por fim, na seção V, são apresentados as conclusões e trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Durante as últimas duas décadas, a pesquisa em preservação de ambientes aquáticos tem atraído consideravelmente a atenção da comunidade científica. A importância da água para a vida vem estimulando o interesse por avanços das técnicas de mapeamento e monitoramento de ambientes subaquáticos. Nesta seção alguns dos atuais trabalhos na área de Redes de Sensores Aquáticos são descritos.

Recentemente, Wen-Yaw *et al.* [8] apresentou um sistema para monitoramento da qualidade da água. A comunicação entre os módulos deste projeto é feita utilizando o ar, por

meio de rádio frequência. Nesse caso, apenas os módulos que contém sensores se encontram em contato com a água, ou seja, o controle, a parte elétrica e eletrônica, e a comunicação se encontram fora da água. Esta característica implica em restrições com relação à profundidade em que um sensor poderá operar, pois os dados serão transmitidos via cabo até a superfície e estarão sujeitos às limitações deste tipo de comunicação.

Em [9], é descrito um trabalho envolvendo aplicação de Rede de Sensores Aquáticos para sistemas de vigilância. Nesta aplicação os sensores ficam submersos e enviam, via cabo, todos os dados coletados para uma bóia dotada de um módulo de comunicação sem fio. Este trabalho teve como objetivo apresentar como a distribuição dos nós sensores afetou o desempenho da rede.

Lu [10] apresenta um projeto de nó sensor cujo objetivo é analisar a viabilidade, em ambientes aquáticos, da comunicação acústica. O projeto não leva em consideração as implicações de variação e transmissão de dados. As características de baixo consumo do nó limitam a comunicação a um intervalo de 3 metros de distância, tornando sua aplicação inviável no mundo real.

Até onde sabemos, o sistema computacional constitui a primeira plataforma para Rede de Sensores Aquáticos dotada de: baixo custo, eficiência energética, adequação a diversas aplicações, compatível com diversos tipos de sensores analógicos e digitais, comunicação a grandes distâncias em ambientes aquáticos e projeto aberto.

III. COMPONENTES DO PROJETO

Nesta seção são descritas as partes que compõem a plataforma autônoma. Ela pode funcionar com diferentes tipos de nó sensor. Um exemplo de nó sensor que funciona com a plataforma é o HydroNode [11]. A plataforma é capaz de suportá-lo e controlá-lo automaticamente. A sua descrição está dividida em 4 partes principais: mecânica, elétrica, eletrônica e *software*. Cada um destes componentes são apresentados nos próximos tópicos.

A. Parte Mecânica

A Figura 1a apresenta a plataforma flutuante. Em sua base há quatro cilindros, cheios de ar, responsáveis por manter a plataforma na superfície do ambiente aquático no qual ela trabalhará. Os cilindros mais compridos estão montados em uma estrutura giratória que permite seu reposicionamento para transporte; a Figura 1b mostra os cilindros reposicionados. Caso seja necessário, esta estrutura móvel também pode ser removida, pois a sua fixação, bem como a fixação dos cilindros na posição de contato com a água, são feitas utilizando parafusos que podem ser removidos sem a utilização de ferramentas.

Na parte superior da plataforma flutuante existem dois compartimentos, que estão descritos a seguir. Um compartimento contém um rolo giratório, acoplado a um motor externo, contendo o cabo que permite a comunicação entre o nó sensor e a plataforma permitindo o ajuste da altura do nó sensor. O outro compartimento armazena a parte elétrica e a parte eletrônica da plataforma flutuante.

A plataforma flutuante deve ser posicionada e ancorada na região que se deseja estudar. A comunicação entre os dispositivos da plataforma e um computador é feita através de um cabo de comunicação serial RS-232. Assim, o usuário deverá se aproximar da plataforma flutuante sempre que quiser realizar uma coleta de informações ou executar uma configuração no sistema.

B. Parte Elétrica

A parte elétrica da plataforma flutuante é constituída por duas baterias SLI (*Starting, Lighting, Ignition*), 12V, 60Ah 100min 450A, que é um modelo de bateria comum em automóveis; um motor de 12V, corrente contínua (CC), modelo F006 WMO 310; e uma unidade controladora de motores CC, EM-160.

As baterias, associadas em série, constituem a fonte de alimentação das partes elétrica e eletrônica da plataforma flutuante, providenciando uma tensão de alimentação de 24V ao sistema. Este modelo de bateria foi escolhido em função da facilidade com que é encontrado no mercado.

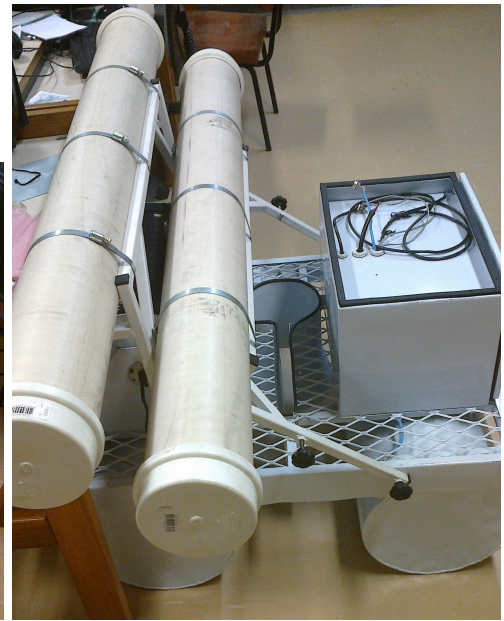
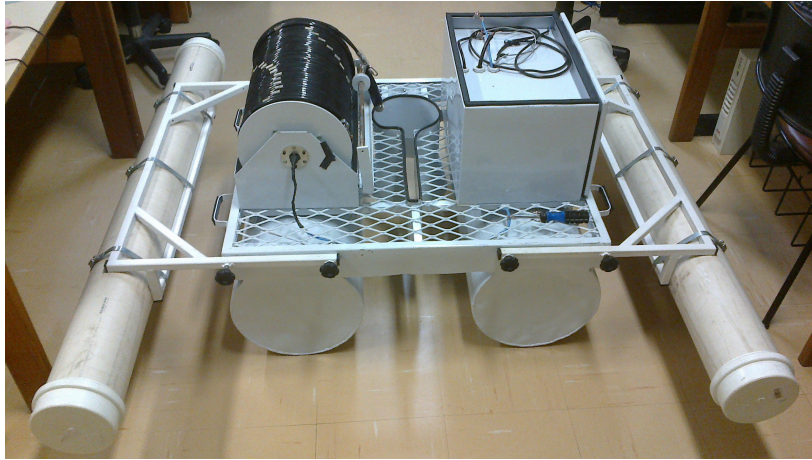
O motor é responsável por girar o rolo da parte mecânica e mover o nó sensor verticalmente. O modelo do motor foi escolhido em função da sua potência nominal de 46W, torque de 10N.m e rotação nominal de 45rpm [12], que caracterizam um motor forte, com consumo razoável e rotação lenta, adequada à aplicação.

A unidade controladora recebe um sinal da placa *Datalogger Board*, pertencente à parte eletrônica, e realiza o controle do motor, com o objetivo de mover o nó sensor para a profundidade desejada. O modelo EM-160 foi escolhido por ser capaz de controlar a rotação do motor, obtendo movimentos precisos, e ser compatível com a tensão de alimentação de 24V.

C. Parte Eletrônica

A parte eletrônica da plataforma flutuante é constituída por uma placa chamada *Datalogger Board* (Figura 2). Para processamento o microcontrolador MSP430F247, é utilizado por possuir quatro modos de operação em economia de energia, nos quais os seus periféricos são mantidos em funcionamento e o consumo de energia é consideravelmente baixo, além de poder se comunicar com um grande número de dispositivos externos. A *Datalogger Board* possui um relógio de tempo real (*Real time Clock* - RTC), para controle e sincronização das operações e para registrar a data em que foram obtidos os dados enviados pelo nó sensor. A placa possui também um conversor digital-analógico (DAC), responsável por gerar um sinal de tensão analógico, entre 0 e 2,5V, com o valor desejado e um amplificador de instrumentação, encarregado de amplificar o sinal de tensão gerado pelo DAC, para um valor que varia de 0 a 10V. Ambos os dispositivos são utilizados para controle da profundidade do nó. Há também, na *Datalogger Board*, um cartão *microSD*, utilizado para armazenar as medições feitas, com todos os parâmetros necessários.

O microcontrolador se comunica com o RTC e com o DAC usando o protocolo I²C, um protocolo de comunicação mestre-esravo simples e fácil de implementar. Para se comunicar com um computador e com as placas do nó sensor, é utilizado o protocolo de comunicação serial RS-232, por ser também simples e, além disso, universal.



(a) Plataforma flutuante com cilindro flutuante em posição normal.
(b) Plataforma flutuante com cilindro flutuante reposicionado para transporte.

Figura 1. Plataforma flutuante sem a parte eletrônica

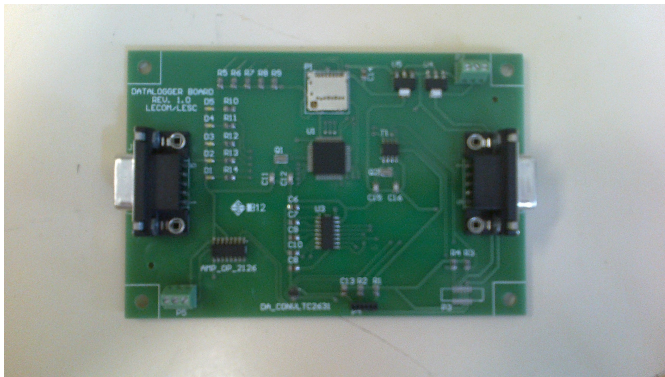


Figura 2. Datalogger Board

D. Software

O software da *Datalogger Board* é encarregado de executar as seguintes tarefas:

- 1) Enviar o nó sensor para a profundidade solicitada pelo usuário;
- 2) Fazer o controle automático da profundidade do nó sensor e das medições, quando desejado;
- 3) Armazenar automaticamente as medições realizadas pelo nó em um cartão *microSD*, por meio de arquivos;
- 4) Solicitar medições em tempo real quando o usuário desejar;
- 5) Enviar as medições armazenadas no cartão *microSD* para o computador quando o usuário desejar;
- 6) Enviar informações sobre funcionamento ao usuário, quando desejado, como estado de carga da bateria e a operação que está sendo realizada.

O algoritmo desenvolvido para que o *software* pudesse atender a todas as funcionalidades da *Datalogger Board* é consideravelmente complexo e, por isso não será visto com todos os detalhes neste artigo. Porém, no próximo tópico, serão descritos trechos simplificados de sua parte principal.

O *software* foi desenvolvido utilizando Linguagem C e a IDE (*Integrated Development Environment*, em português Ambiente de desenvolvimento integrado), foi o *IAR Workbench*, por ser compatível com microcontroladores da família do MSP430F247.

IV. RESULTADOS E FUNCIONALIDADES

Nesta seção exibiremos os resultados obtidos até agora com o trabalho sobre este projeto e descreveremos o funcionamento das partes principais em conjunto, visando as funcionalidades e aplicações proporcionadas pelo uso da plataforma flutuante.

A. Controle de altura

O controle da altura na coluna de água, conforme indicado anteriormente, é feito utilizando dois dispositivos eletrônicos: O conversor analógico-digital (DAC) e o amplificador de instrumentação. Ambos são controlados pelo microcontrolador MSP430F247.

A profundidade do nó sensor, a princípio, pode variar de 0 a 30 metros com relação a superfície. O valor da profundidade desejada é enviado para a *Datalogger Board* sendo convertido para um valor, diretamente proporcional, que varia de 0 a 4095. Este valor é enviado via I²C para o DAC que, por sua vez gera o sinal de tensão correspondente, também diretamente proporcional, variando de 0 a 2,5V. Este sinal é amplificado pelo amplificador operacional a um sinal que varia de 0 a 10V e, por fim, transmitido a unidade controladora do motor, já

na parte elétrica. A unidade controladora recebe este valor de tensão e envia o nó para a profundidade desejada.

Na Figura 3, é apresentado um gráfico que compara os valores iniciais e finais de todo o procedimento descrito acima.

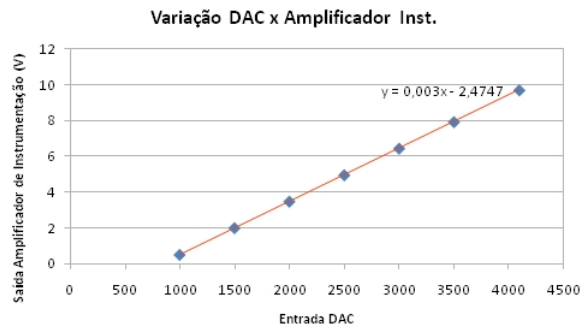


Figura 3. Gráfico da variação do sinal de saída com o de entrada

B. Correto posicionamento da sonda

A unidade controladora do motor mede, utilizando um potenciômetro acoplado ao motor, a profundidade em que o nó se encontra e a ajusta, girando o motor, para a profundidade informada no sinal de tensão vindo do amplificador de instrumentação.

O potenciômetro referido acima é um componente que possui uma parte móvel giratória, com um número limitado de giros em ambos os sentidos, que gera um valor de tensão de acordo com a posição da mesma. Ou seja, variando da posição inicial até a final, o valor de tensão varia entre um valor mínimo e um valor máximo. O potenciômetro utilizado neste projeto foi adaptado para que, em 0 metros de profundidade ele gere um sinal de tensão 0V e, em 30 metros, de 10V, diretamente proporcional.

Assim a tarefa realizada pela unidade controladora do motor é, então, comparar os sinais de tensão vindos do amplificador de instrumentação e do potenciômetro e acionar o motor de forma que eles se igualem. A resolução conquistada com este procedimento é 1 centímetro que, para a sua aplicação, é satisfatória.

C. Agendamento

O agendamento é o modo de operação principal da *Datalogger Board* no qual o controle da profundidade do nó sensor e das medições é feito automaticamente. São definidos pelo usuário os seguintes parâmetros:

- 1) Número de vezes que um ciclo será executado;
- 2) Tempo de espera para repetir o ciclo;
- 3) Intervalo de tempo entre uma medição e outra;
- 4) Profundidades inicial e final;
- 5) Tempo de permanência em uma profundidade;
- 6) E passo (incremento aplicado à profundidade a cada vez que o tempo de permanência acaba).

Assim que definidos esses parâmetros, a *Datalogger Board* envia o nó sensor para a profundidade inicial e então é iniciado o modo agendamento em si. O tempo é medido e, a cada vez

que é atingido o tempo de permanência, o nó sensor é enviado para a próxima profundidade. Isto se repete até ser atingida a profundidade final. A cada troca de profundidade, as medições são salvas no cartão *microSD*. Atingido o final de um ciclo, é aguardado o tempo de espera para repetir o ciclo e então é reiniciado o processo. Quando todos os ciclos acabarem, a *Datalogger Board* envia o nó sensor para a profundidade de 0 metros, ou seja, a superfície, e aguarda o próximo comando.

Na figura 4, é apresentado um fluxograma do algoritmo do agendamento:

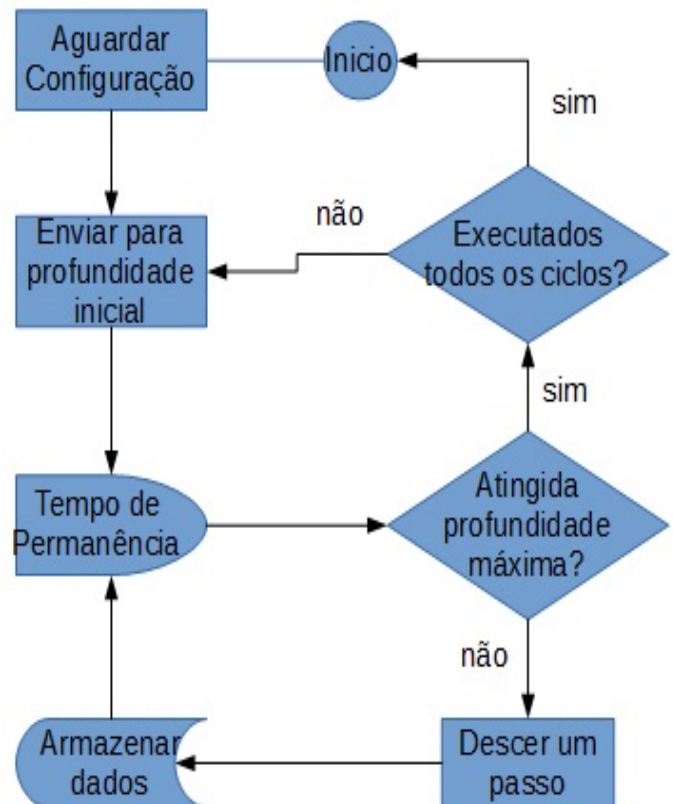


Figura 4. Fluxograma do Modo Agendamento

É possível fazer diversas medições em profundidades diferentes, de maneira repetitiva, por horas e até dias, sem a necessidade da presença do usuário para executar uma reprogramação. Vale observar, também, que os dados ficam disponíveis na superfície, sem a necessidade de remover ou desmontar qualquer componente do projeto.

De uma maneira mais resumida, descrevemos o funcionamento do projeto em fase atual da seguinte forma: O usuário programa um conjunto de medições a serem feitas, a *Datalogger Board* controlará, através do amplificador operacional, da unidade controladora e do RTC, o processo de amostragem do ambiente aquático e, depois do tempo esperado para conclusão do processo, terá todos os dados no cartão *microSD*. Estes dados podem ser solicitados pelo usuário para o seu computador ou basta apenas remover o cartão *microSD* e inseri-lo em um computador compatível.

Quando o agendamento está configurado e executando, ou seja, no estado de “Tempo de Permanência”, a *Datalogger*

Board fica responsável por esperar interrupções tanto do RTC quanto do usuário. Ou seja, é possível, enquanto o agendamento está executando, enviar comando para a Datalogger Board. Este trecho de código, ao receber uma interrupção, verifica se ela é proveniente do RTC ou do usuário; caso seja do RTC, é incrementada um inteiro que indica o tempo passado e então, se este inteiro tiver o mesmo valor da configuração feita pelo usuário, esse estado é interrompido e uma nova profundidade é configurada. Este procedimento é repetido até a profundidade máxima ser atingida. Caso a interrupção seja do usuário, o Agendamento é interrompido então é feita a análise do comando, na função principal. Esta e as demais funcionalidades auxiliares do Agendamento, bem como o Agendamento, estão implementadas em bibliotecas auxiliares, que contêm as funções da Datalogger Board.

D. Protocolo de comunicação

No projeto HydroNode existe um fluxo de comunicação que pode passar por até três placas e, futuramente, por mais de três, de forma com que cada placa, com exceção da Acquisition, é encarregada de receber a mensagem e, dependendo do destino, encaminhar para outra placa. Por isso, foi desenvolvido um protocolo ou acordo de comunicação, em cima do protocolo de comunicação serial: RS-232 e I²C, com a finalidade de padronizar o formato dos comandos e informações trocadas entre as placas.

As mensagens (comandos e informações) do protocolo de comunicação do projeto HydroNode são separadas em bytes, enviados um a um. Estes bytes obedecem ao seguinte formato:

- O primeiro byte informa a quantidade de bytes que chegarão depois dele.
- O segundo byte informa qual é o comando que será executado.
- Os bytes restantes compõem toda a informação necessária para a execução do comando recebido.

Os comandos implementados são: configurar a data atual; solicitar dados do cartão de memória; realizar medições em tempo real; configuração dos sensores; definir intervalo de tempo de aquisição; verificar estado da memória ou formatá-la; ler estado da bateria; mensagem de dados adquiridos pelos sensores; mensagem do estado da bateria; definição de profundidade final e inicial; agendamento de posições; mensagem de estado da *Datalogger Board*. A figura 5 ilustra o formato da mensagem de calibração de sensor, que faz parte do conjunto de mensagens de configuração dos sensores.

BYTE 0	BYTE 1	BYTE 2	BYTE 3	BYTE 4	BYTE 5	BYTE 6	BYTE 7	BYTE 8
8	2	ID_NODE	OPTION	ID_SENSOR	CONST_A_B1	CONST_A_B0	CONST_B_B1	CONST_B_B0

Figura 5. Comando de calibração de sensor, na estrutura do protocolo de comunicação

O campo “ID_NODE” representa o ID do nó sensor ao qual a mensagem deve ser entregue. O campo “OPTION” indica o tipo de comando, no conjunto de mensagens de configuração dos sensores. O campo “ID_SENSOR” indica o sensor ao qual a configuração será aplicada. Os campos “CONST_A_B1” e “CONST_A_B0” constituem a constante A, de 2 bytes, onde

o primeiro é o byte mais significativo e o segundo, o menos significativo. Os campos “CONST_B_B1” e “CONST_B_B0”, referem-se à constante B, também de 2 bytes, no mesmo padrão descrito para a constante A. As constantes A e B são obtidas experimentalmente no processo de calibração descrito no manual do sensor.

Vale observar que cada comando tem um número padrão de bytes que o compõe, ou seja, não é possível um mesmo comando ser enviado com quantidades de bytes diferentes, com exceção do comando de “Mensagem de Dados” que varia o tamanho do campo de dados em função da quantidade de sensores instalados no nó sensor. A cada mensagem enviada, o nó sensor deve responder uma mensagem de confirmação, no mesmo formato, contendo um byte informando o tempo, em centenas de milissegundos, que o computador deve esperar para enviar uma nova mensagem.

E. Armazenamento dos Dados

Como o projeto HydroNode é desenvolvido para monitoramento de propriedades de ambientes aquáticos, um outro fator se torna também muito importante: a precisão. Propriedades como temperatura, condutividade elétrica, nível de oxigênio dissolvido e outras não são medidas utilizando apenas valores inteiros ou discretos; são necessários valores de medidas com casas decimais. Porém, um byte não possui um sinal, como uma vírgula, que o divida em parte inteira e parte decimal, ou seja, devemos utilizar uma codificação com os bytes, para descrever números com casas decimais, os chamados números de ponto flutuante.

Visando um balanceamento entre o tamanho da mensagem e a precisão dos dados enviados, escolhemos uma codificação de um número utilizando dois bytes. O primeiro byte é dividido em duas partes: os 4 bits menos significativos descrevem a parte decimal; o valor inteiro composto por estes 4 bits deve ser dividido por 16. Em outras palavras, os 4 bits menos significativos do primeiro byte descrevem a parte decimal do número enviado, em 16-avos. Os 4 bits restantes do primeiro byte e o segundo byte descrevem, juntos, a parte inteira do número enviado. Sendo a parte inteira menos significativa localizada no primeiro byte. A figura 6 ilustra a codificação descrita, aplicada ao número 46,25. Como o envio é feito através de bytes, o número foi representado no sistema de numeração binário.

Byte 2								Byte 1 - inteiro				Byte 1 - decimal			
bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0

Figura 6. Representação do número 46,25 no formato do protocolo de comunicação

Os dados das medições, ao final de um Agendamento, ficam armazenados no cartão de memória, conforme citado anteriormente. Este armazenamento é feito em arquivos no formato .csv, um formato de planilha compatível com os principais editores de planilhas, como o LibreOffice Calc e o Microsoft Excel. É criado um arquivo para cada agendamento executado. O arquivo referente a um agendamento é nomeado segundo a data e a hora em que o agendamento foi iniciado, contendo ano, mês, dia, hora e minutos, nesta ordem. Um

exemplo de nome de arquivo referente a um agendamento é: “2014-01-01_15h_03min.csv”; este arquivo se refere a um agendamento iniciado no dia primeiro de Janeiro de 2014, às 15 horas e 3 minutos. Este padrão foi escolhido para facilitar a procura pelo arquivo, uma vez que, automaticamente, os computadores organizam os arquivos em ordem alfabética. Assim, o agendamento mais recente estará localizado sempre no último arquivo da lista exibida para o usuário. Os dados do cartão de memória podem ser acessados do computador conectando-se um cabo Serial DE-9 à *Datalogger Board* e enviando o comando de Solicitação de Dados do Cartão de Memória; ou removendo-se o mesmo e conectando-o ao computador.

O armazenamento dos dados não é feito em tempo real. O nó sensor possui um chip de memória EEPROM, onde as medições ficam armazenadas até que a *Datalogger Board* as solicite para armazená-los no cartão *microSD* (cartão de memória). O envio das medições é feito através de mensagens obedecendo ao formato descrito no tópico anterior, uma de cada vez, e a *Datalogger Board* faz o tratamento de cada mensagem recebida e armazena as medições no arquivo referente ao agendamento, através de uma função auxiliar. Para facilitar este procedimento, o nó sensor informa quantas medições existem na memória EEPROM.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo nós apresentamos a plataforma computacional e sua estrutura que traz uma automação para a área de Redes de Sensores Aquáticos. Descrevemos o funcionamento de cada parte do projeto e mostramos, em seguida, o funcionamento como um todo. Mostramos o controle automático de um nó sensor, por uma placa capaz de armazenar informações sobre o ambiente aquático e deixá-los sempre disponíveis, sem a necessidade de alguma desmontagem para caso o processo de amostragem do ambiente não ter sido encerrado.

Como trabalhos futuros sobre este projeto, temos a aplicação com vários nós sensores, fixos, utilizando comunicação acústica, conforme ilustrado na figura 7 [11]. Visamos também obter comunicação sem fio entre a plataforma e um dispositivo em terra firme; pesquisar maneiras de aumentar ainda mais a eficiência energética e o alcance com a comunicação acústica; e realizar testes de autonomia das baterias escolhidas, em ambiente real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEMIG, CNPq, CAPES, FUNARBE e UFV.

REFERÊNCIAS

- [1] L. F. M. Vieira., *Mobile Ad hoc Networks: Current Status and Future Trends.*, 2011.
- [2] L. F. M. Vieira, “Underwater sea swarm,” Ph.D. dissertation, Los Angeles, CA, USA, 2009.
- [3] L. F. M. Vieira, U. Lee, and M. Gerla, “Phero-trail: a bio-inspired location service for mobile underwater sensor networks,” in *Proceedings of the third ACM international workshop on Underwater Networks*, ser. WuWNeT '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 43–50.
- [4] I. A. Dario, I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, “Underwater acoustic sensor networks: Research challenges,” pp. 257–279, 2005.

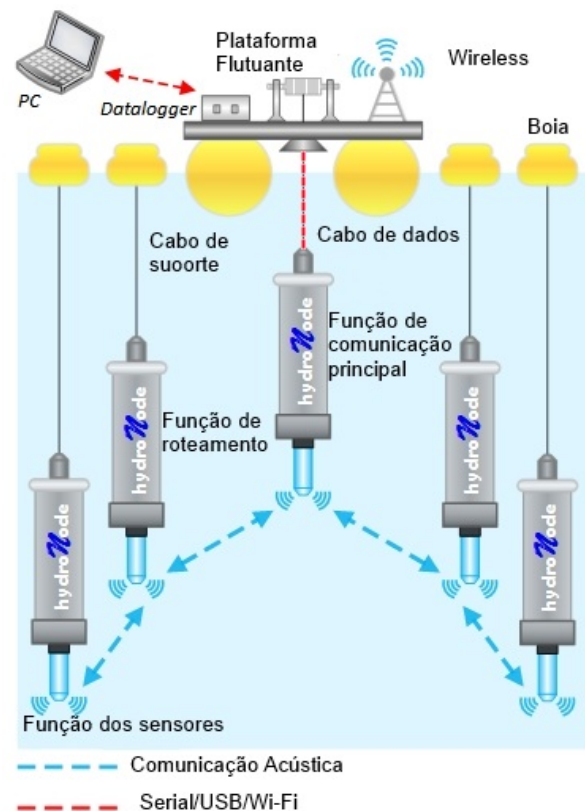


Figura 7. Diagrama geral do projeto.

- [5] J. Kong, J.-H. Cui, D. Wu, and M. Gerla, “Building underwater ad-hoc networks and sensor networks for large scale real-time aquatic applications,” in *Military Communications Conference, 2005. MILCOM 2005. IEEE*, 2005, pp. 1535–1541 Vol. 3.
- [6] J. Heidemann, M. Stojanovic, and M. Zorzi, “Underwater sensor networks: applications, advances and challenges,” *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 370, no. 1958, pp. 158–175, 2012.
- [7] I. Binacional. <http://www.itaipu.gov.br/en/the-environment/golden-mussel>, 2010.
- [8] W.-Y. Chung, C.-L. Chen, and J. bin Chen, “Design and implementation of low power wireless sensor system for water quality monitoring,” in *Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference on*, 2011, pp. 1–4.
- [9] E. Cayirci, H. Tezcan, Y. Dogan, and V. Coskun, “Wireless sensor networks for underwater surveillance systems,” *Ad Hoc Networks*, vol. 4, no. 4, pp. 431–446, 2006.
- [10] C. Lu, S. Wang, and M. Tan, “Design and realization of sensor nodes for dense underwater wireless sensor networks,” in *Proc of the 17th World Congress of the Int Federation of Automatic Control*, vol. 819, 2008.
- [11] S. S. Viana, L. B. Silva, A. S. Lima, A. B. Vieira, L. F. Vieira, M. A. Vieira, A. O. Fernandes, and J. A. M. Nacif, “Hydronode: Uma rede de sensores aquáticos de baixo custo e consumo,” in *III Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais*, 2013.
- [12] K. Automação, *F006 WMO 310*, 2011.