

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GRADIENTE TÉRMICO COSTEIRO

MARCO V. R. LOPES*, ROGERIO N. CANDELLA[†], GERALDO CERNICCHIARO*

**Laboratório de Instrumentação e Medidas (LIM), Coordenação de Matéria Condensada, Física Aplicada e Nanociência (COMAN), Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 – URCA – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 22290-180
E-mails: marvin.lopes@gmail.com, geraldo@cbpf.br*

*[†]Divisão de Dinâmica Costeira e Estuarina, Departamento de Oceanografia, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM)
Rua Kioto, 253 – Praia dos Anjos – Arraial do Cabo – RJ – CEP: 28930-000
E-mail: r.candella@marinha.mar.mil.br*

Abstract— This work presents the development of a prototype of thermal gradient measurements using a thermometer chain for continuous and real-time monitoring of the water column in a coastal region. The chain of thermometers extends vertically to the bottom of the sea, based on an anchor, and allows the simultaneous reading of 8 temperatures. The number of sensors is expandable and the device is robust, low cost and low consumption. The temperature data is processed by a microcontroller and transmitted via radio modem to a remote control and recording station almost 1 km away. The tests were carried out at the Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. This is a location with peculiar characteristics and one of the main points of upwelling in the coast of Brazil. The technology developed and the integration of sensors with existing meteorological monitoring stations provides a strategic tool for oceanographic studies.

Keywords— Monitoring, temperature variability thermistors, chain, thermal gradient, mooring, 1-Wire.

Resumo— Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um protótipo de medidas de gradiente térmico utilizando uma cadeia de termômetros para monitoramento contínuo e em tempo real da coluna d'água em uma região costeira. A cadeia de termômetros se estende verticalmente até o fundo do mar, fundeada em uma poita, e permite a leitura simultânea de 8 temperaturas. O número de sensores é expansível e o dispositivo se apresenta robusto, de baixo custo e baixo consumo. Os dados de temperatura são processados por um microcontrolador e enviados via rádio modem para uma estação remota de controle e registro a quase 1 km de distância. Os testes foram realizados na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. Esta é uma localização com características peculiares e um dos principais pontos de ressurgência no litoral do Brasil. A tecnologia desenvolvida e a integração dos sensores com as estações de monitoramento meteorológicas existentes fornece uma ferramenta estratégica para estudos oceanográficos.

Palavras-chave— Monitoramento, variação de temperatura, cadeia de termistores, gradiente térmico, fundeio, 1-Wire.

1 Introdução

A associação da estratificação térmica do oceano com a direção e intensidade do vento, nível do mar e perfis verticais da direção e velocidade das correntes, torna-se essencial no estudo dos efeitos na vida marinha e nos processos meteorológicos e geológicos. No campo da acústica submarina, a temperatura é o fator que mais influencia na determinação da velocidade do som bem como a sua direção e distância de propagação (Codato *et al.*, 2012).

A coleta de dados oceanográficos em tempo real tem sido um desafio para a oceanografia operacional nas últimas décadas (Calado, C. Paula and A Mattos, 2013). Uma série de alternativas tem sido propostas pela comunidade científica, destacando-se boias e

fundeios meteo-oceanográficos com cadeia de termômetros e outros sensores, lançamentos de sondas perfiladoras de temperatura a partir de aeronaves e a utilização de veículos autônomos de medição (como *gliders* e perfiladores ARGO).

Em atendimento ao subprojeto Sistema Integrado de Obtenção de Dados Oceanográficos (SIODOC), que está inserido no projeto Sistemas de Obtenção de Dados Ambientais para Defesa (SIODC) (IEAPM, no date b), o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) uniu esforços com o Laboratório de Instrumentação e Medidas (LIM) do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) com o objetivo de desenvolver sistemas integrados de obtenção, processamento e apresentação de dados da coluna d'água da região de Arraial do Cabo – RJ (IEAPM, no date a).

A motivação inicial para este trabalho surge no contexto do recorrente fenômeno de ressurgência

costeira na área oceânica da cidade de Arraial do Cabo – RJ. Este fenômeno apresenta-se como a combinação dos ventos do quadrante nordeste que fluem por vários dias na mesma direção e da própria configuração desta costa, paralela a esta direção dos ventos. A ressurgência é caracterizada pelo afastamento das águas costeiras devido a dinâmica de Ekman e o afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), composta por águas com temperaturas abaixo de 18°C (Calado *et al.*, 2010). A interação deste processo com a camada superficial da Corrente do Brasil que ocupa esta região, com temperaturas próximas à 26°C, pode desenvolver um gradiente térmico de até 10°C (Rodrigues and Lorenzzetti, 2001). No período de setembro de 2012 a janeiro de 2013, um sistema de monitoramento de temperatura desenvolvido pelo CBPF foi posto em teste na estação maregráfica mantida pelo IEAPM e os dados coletados a uma profundidade fixa de 6 metros permitiram comprovar esta ampla variação de temperatura no interior da Enseada dos Anjos (Cernicchiaro *et al.*, 2013).

A aplicação de um sistema de monitoramento de temperatura que amplie a informação desse parâmetro na superfície para toda a coluna d'água permite aprofundar o conhecimento oceanográfico de regiões costeiras afetadas pela ressurgência. Um sistema automático operado por guincho, instalado no interior da baía de *San Luis Obispo*, na Califórnia – Estados Unidos da América (EUA), mediu por quase 10 anos o perfil de temperatura e salinidade de uma coluna d'água de 10 m de profundidade (Walter *et al.*, 2018). A análise desses dados permitiu caracterizar a ressurgência costeira em 5 temporadas interanuais com características distintas de transição e amplitude de gradiente térmico contribuindo para uma melhor compreensão de fenômenos dinâmicos e ecológicos daquela região.

A utilização de um perfilador automático depende de um elevado custo. Além disso, com a necessidade de medições próximas ao local do fenômeno, a utilização de sensores fixados à linha de fundeio de uma boia oceanográfica torna-se a alternativa frequente para o monitoramento contínuo dos parâmetros da coluna d'água. Para o caso específico da temperatura, uma cadeia de termômetros pode ser distribuída ao longo da linha com esse objetivo. Diversos trabalhos utilizam dados de cadeia de termômetros distribuídos em profundidade de até 100 m para estudos de fenômenos oceanográficos. Em 2006, dados coletados em intervalos de 240 s de 6 registradores de temperatura *StowAway Tidbits*, com acurácia de 0,4°C e resolução de 0,3°C, foram utilizados em estudo do impacto de brisas marítimas e a ocorrência de ressurgência local diurna na Baía de *Monterey*, Califórnia – EUA (Woodson *et al.*, 2007). Em 2012, uma cadeia de 17 termistores foi instalada a 1 km da costa, espaçados a cada 0,8 m entre as profundidades de 6 e 20 metros em um ponto com profundidade total de 22 m para o estudo de ressurgência costeira no Mar Negro, área próxima a *Gelendzhik* – Rússia (Silvestrova, Zatsepin and Myslenkov, 2017). Em 2011, um experimento de 9 dias foi realizado com cadeia de 5 termistores fundeados em profundidades de aproximadamente 28 metros

no interior da Baía *Shark* – Austrália para estudos de interação baía-oceano nos seus dois principais canais de entrada: *Geographe Channel* e *Naturaliste Channel* (Hetzel, Pattiaratchi and Mihanović, 2018). Em 2012, no Canadá, foi realizado um estudo da influência do gradiente térmico na distribuição da concentração vertical de nutrientes e vida marinha em lagos, utilizando registradores de temperatura Hobo, com acurácia de 0,2°C e resolução de 0,01°C, distribuídos a cada 0,5m em locais com 8m de profundidades aproximada (Ouellet Jobin and Beisner, 2014).

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento de gradiente térmico da Enseada dos Anjos em Arraial do Cabo-RJ, possibilitando o controle e aquisição de dados de uma cadeia de termômetros em diferentes profundidades com transmissão contínua e em tempo real. Posteriormente, as informações experimentais irão contribuir para o estudo da dinâmica marinha costeira dessa região, além de sua aplicação em fundeios mais afastados da costa, sendo configurado para a integração futura de uma maior variedade de sensores.

2 Desenvolvimento do Protótipo

A topologia do protótipo foi projetada visando implementar alguns requisitos comuns a uma Rede de Sensores sem Fio (WSN – *Wireless Sensor Networks*): transceptor, sensor, processador e fonte de energia (Bri *et al.*, 2009). WSN são compostas por sensores que medem parâmetros físicos e por “nós” que recebem e processam essa medida. Devido à pouca memória e limitações de energia, estes “nós” não podem acumular uma grande quantidade de dados, sendo necessário o envio dessas informações.

O protótipo desenvolvido neste trabalho é constituído por um arranjo de sensores, uma interface de aquisição, um módulo de comunicação sem fio e uma estação remota. O arranjo de sensores é constituído por uma cadeia de termômetros que reage às alterações de temperatura da coluna d'água, convertendo o sinal elétrico proporcional a essa variação em uma informação digital. A interface de aquisição possui um sistema independente de fornecimento de energia e é responsável por receber e processar essa medida além de controlar a frequência de amostragem dos sensores. E o módulo de comunicação sem fio é responsável por disponibilizar essa informação para uma estação remota de controle e registro.

2.1 Arranjo de sensores

Os transdutores de temperatura utilizados no arranjo de sensores foram desenvolvidos pela empresa *Maxim Integrated*. Constitui-se de um termômetro digital DS18B20 (Maxim, 2015) que possui uma resolução selecionável de até 0,0625°C, uma acurácia garantida pelo fabricante de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e um tempo de conversão de 750ms. Atualmente, este sensor é utilizado em diversos projetos *open source*, incluindo alguns

com aplicação direta em ambiente marinho como o *OpenCTD* (*Oceanography for Everyone*, no date) e o *The Cave Pearl Project* (*The Cave Pearl Project*, no date). O primeiro utiliza este termômetro em um medidor de baixo custo para os parâmetros de temperatura, salinidade e pressão (CTD – *Conductivity, Temperature and Depth*) e o segundo sugere a aplicação de vários destes termômetros como uma cadeia de termistores em estudos realizados em cavernas submersas.

Cada sensor possui um identificador individual de 64 bits que permite o seu endereçamento no barramento. Os sensores se comunicam por meio do protocolo de comunicação serial 1-Wire. Esse protocolo permite compartilhar um único condutor de canal de dados para todos os sensores conectados ao barramento (Figura 1).

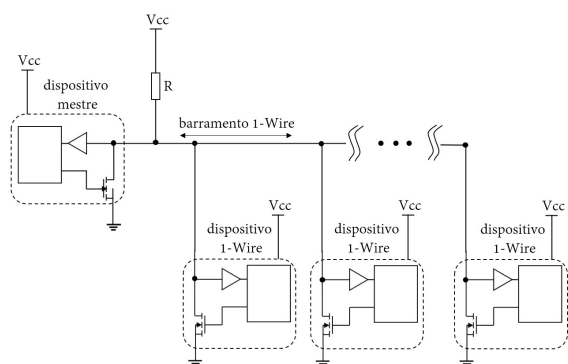


Figura 1. Diagrama de blocos do protocolo de comunicação 1-Wire.

A quantidade de sensores e a distância máxima de comunicação está limitada às contribuições de impedância do comprimento do cabo somadas às contribuições de impedância de cada sensor. O protocolo 1-Wire foi desenvolvido inicialmente para permitir a comunicação entre componentes próximos. Contudo, distâncias de até 200m são possíveis utilizando *drivers* especiais em conjunto com a porta digital do microcontrolador configurado como dispositivo mestre (Maxim, 2008).

A primeira versão da cadeia de termômetros foi montada com 8 termômetros digitais soldados em um cabo elétrico multipolar composto por 3 condutores isolados. Os terminais de cada termômetro foram emendados com solda aos condutores por meio de pequenas aberturas feitas na cobertura do cabo multipolar (Figura 2a). Para garantir a impermeabilidade do cabo e dos sensores, os mesmos foram cobertos com composto adesivo do tipo epóxi em moldes formados por tubos de PVC (Figura 2b).

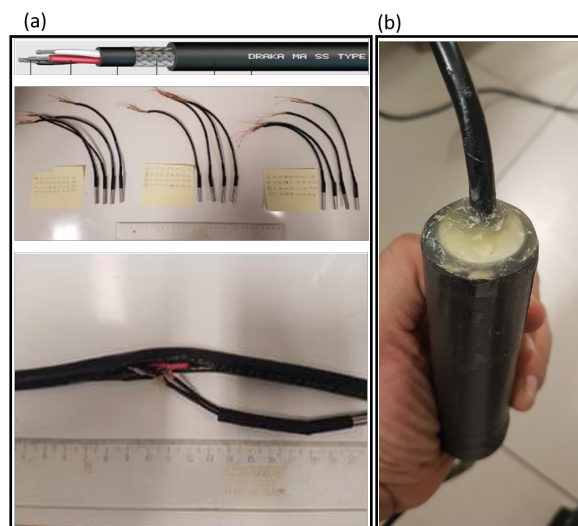


Figura 2. Preparação e conexão dos condutores de cada termômetro ao barramento principal (a) e resultado da impermeabilização com resina epóxi (b).

2.2 Dispositivo de Monitoramento

O dispositivo de monitoramento é composto pela interface de aquisição, o módulo de comunicação sem fio e uma estação remota de controle e registro dos dados. A interface de aquisição é baseada em uma placa eletrônica de desenvolvimento para o microcontrolador AVR ATmega1248P projetada no Laboratório de Instrumentação e Medidas (LIM) do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CPBF) [ref diss Bruno]. A comunicação com a cadeia de termômetros é feita por um dos pinos digitais GPIO (*general purpose input/output*) do microcontrolador. Em cada linha de medida o microcontrolador se comunica, via protocolo serial I2C, com um módulo de relógio de tempo real *Maxim Integrated* RTC DS3231 para obter a data e a hora da medida. A linha de medida é transmitida para a estação remota de monitoramento via rádio frequência (RF). A comunicação microcontrolador - módulo de comunicação sem fio - estação remota é realizada via protocolo serial RS-232. O nível de sinal lógico TTL da porta UART precisa ser convertido para o nível RS-232 por um *driver* serial. Da mesma forma, o sinal RS-232 é convertido para o protocolo USB antes de chegar à estação remota. Todos os módulos com exceção da estação remota são alimentados pelo sistema de geração de energia fotovoltaica com controle de carga de bateria existente na interface de aquisição. A Figura 3 ilustra todos os módulos do protótipo. A placa eletrônica do microcontrolador bem como o relógio e o transceptor RF da interface de aquisição foram acomodados em uma caixa de aço inox com a tampa de acesso vedada com borracha para proteger os componentes eletrônicos do efeito da maresia.

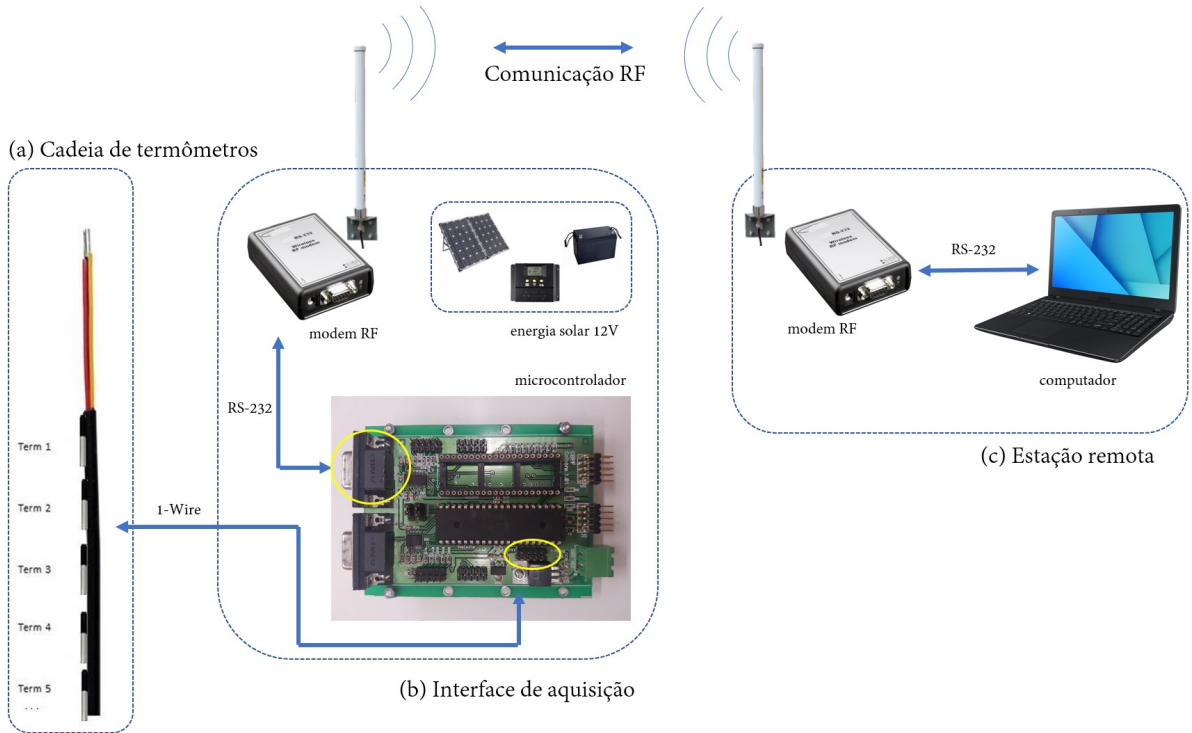


Figura 3. Diagrama de blocos do protótipo de medidas composto pela cadeia de termômetros (a), a interface de aquisição (b) e estação remota de controle e registro (c).

2.3 Desenvolvimento do Firmware

O *firmware* gravado no microcontrolador foi desenvolvido em linguagem de programação C/C++ utilizando o compilador *Atmel Studio 7*.

O protocolo 1-Wire foi todo implementado via *software* utilizando apenas um resistor de *pull-up* externo (Atmel, no date). O algoritmo envia um pulso de inicialização no barramento para verificação da presença dos sensores e inicia o laço de repetição contínuo, enviando o comando de conversão da temperatura para todos os sensores. A requisição de cada sensor é executada de forma ordenada para a leitura de suas memórias. Os dados informados são organizados em linhas de registro e finalmente disponibilizados na saída da interface de comunicação serial UART conforme demonstrado no fluxograma da Figura 4.

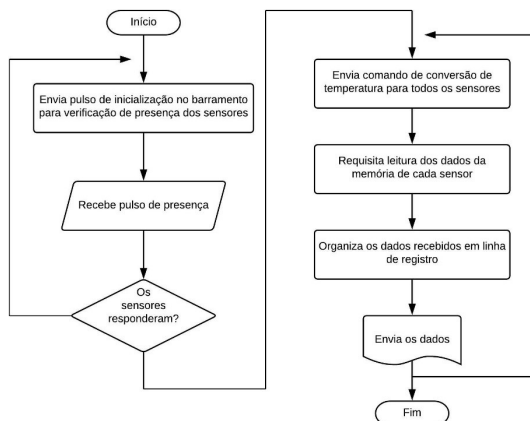


Figura 4. Fluxograma do algoritmo.

O programa principal conta com a implementação de recursos do microcontrolador como *wachdog* e acesso à memória EEPROM. Além disso, o algoritmo inicia automaticamente a execução das medidas em caso de reinicialização por falta de alimentação e permite receber alguns comandos da estação remota sem interromper a frequência de aquisição configurada.

2.4 Calibração

A calibração dos termômetros foi realizada pelo método de comparação com um termômetro padrão (ABNT, 2000). Foram realizados registros subsequentes das indicações dos sensores em calibração e do termômetro utilizado como padrão. Esses registros foram realizados em um banho de gelo e em diferentes temperaturas configuradas em um banho termostático. Para a leitura do padrão, uma termorresistência de platina (TRP) Pt100, foi utilizado o multímetro digital Agilent 34401A de 6 ½ dígitos de resolução. As leituras do padrão foram realizadas em unidades de resistência elétrica (ohm) e convertidas para valores de temperatura (°C). A relação entre resistência elétrica R e o valor de temperatura t , é normatizada pela Escala Internacional de Temperatura de 1990 (McGlashan, 1990) e foi definida pela equação de *Callendar-van Dusen* (Dusen, 1925):

$$R(t) = R_{(0^{\circ}\text{C})}(1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3) \quad (1)$$

onde C é igual a zero acima de 0 °C, $A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para um coeficiente de temperatura $\alpha = 3,851 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

A Figura 5 apresenta o resultado da curva de ajuste calculada para cada sensor.

A Tabela 1 apresenta o coeficiente de determinação R^2 , o coeficiente angular m e o coeficiente linear b obtidos pelo método de regressão linear que associa o valor de temperatura de cada sensor com o valor de temperatura da TRP pela seguinte equação:

$$T_{\text{sensor}} = b + m T_{\text{Pt100}} \quad (2)$$

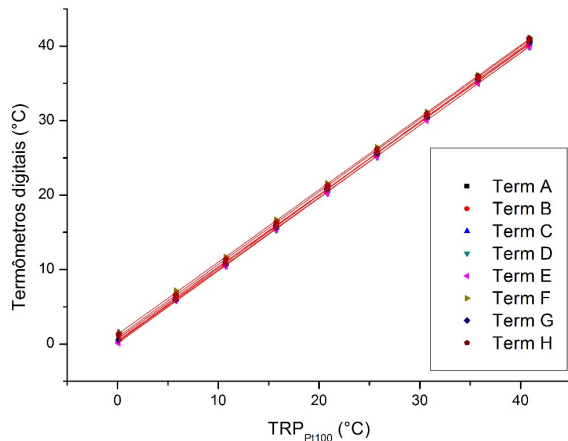


Figura 5. Calibração dos Sensores.

Tabela 1. Coeficientes de determinação (R^2), regressão (m) e coeficientes lineares (b) calculados para cada termômetro.

Termômetros	R^2	m	b
Term A	0,99985	0,97796	0,4038
Term B	0,99986	0,9688	0,68162
Term C	0,99936	0,96864	0,66943
Term D	0,99981	0,97084	0,25138
Term E	0,99995	0,97636	0,07878
Term F	0,99994	0,97085	1,28781
Term G	0,99996	0,98407	0,33333
Term H	0,99994	0,97617	0,91787

3 Resultados e Discussão

3.1 Implementação em campo

O dispositivo foi instalado na estação maregráfica operada pelo IEAPM com o objetivo de monitorar a temperatura da coluna d'água do mar abrigado pela Enseada dos Anjos. A estação fica situada no meio do cais 101 do Porto do Forno (Figura 6a e b), próximo à boca da enseada. A passagem sudoeste, também conhecida como Boqueirão Sul se distancia cerca de 7km da estação. A estação remota de controle e registro foi instalada no interior do IEAPM a uma distância aproximada de 900m (Figura 6a).

A cadeia de termômetros atravessou a lateral da estação e se estendeu verticalmente até o fundo do mar afixada por meio de fitas plásticas a um cabo de aço

que se mantém esticado entre a estação e uma poita depositada no fundo (Figura 6c). A característica do protocolo 1-Wire de permitir que todo o sistema funcione com apenas 3 condutores (canal de dados, alimentação e referência negativa) viabilizou a adaptação de cabos submarinos de relativamente baixo custo.

Esta configuração de instalação resultou na imersão de 5 termômetros posicionados nas distâncias de 1, 2, 4, 6 e 8 metros do fundo, 2 termômetros acima da superfície nas distâncias de 10 e 12 metros do fundo e 1 último termômetro que ficou no interior da estação (Figura 6c).

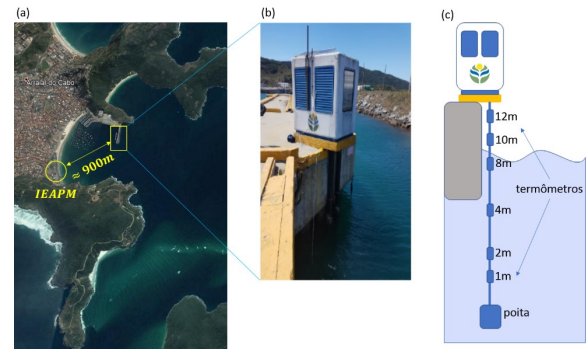


Figura 6. Imagem satélite da Enseada dos Anjos – Arraial do Cabo – RJ (a), foto da estação maregráfica (b) situada no Porto e distribuição da cadeia de termômetros instalada naquela estação (c).

3.2 Resultados experimentais

A cadeia de termômetros registrou as primeiras medidas no Porto do Forno entre os dias 30 de junho e 4 de julho de 2017. Todos os registros que eram previstos pela frequência de amostragem configurada (1 medida por minuto) foram gerados e transmitidos com sucesso, evidenciando a estabilidade do sistema de monitoramento proposto.

Para uma melhor compreensão dos dados obtidos, a variação de temperatura da coluna d'água foi comparada com os dados de vento coletados pela estação meteorológica A606 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada nas dependências do IEAPM a uma altitude de 3 metros.

As séries temporais dos termômetros foram sobrepostas à variação do perfil de temperatura para evidenciar a contribuição relativa da posição de cada termômetro na interpolação da coluna d'água (Figura 7). Nas primeiras 36 horas não foi possível observar um gradiente térmico significativo, estando as oscilações de temperatura dentro do intervalo de tolerância informado pelo fabricante (menores que $\pm 0,5^\circ\text{C}$). A partir das 12h do dia 01 de julho de 2017, houve uma diminuição da temperatura, inicialmente nos níveis mais profundos, mas que com o passar do tempo, se estendeu por toda a coluna d'água. Essa situação perdurou por cerca de 24 horas (Figura 7a) e a amplitude da diferença entre o termômetro mais profundo e o mais próximo da superfície foi de aproximadamente 3°C (Figura 7c).

A formação do gradiente térmico pode ser explicada pela ação do vento na região. A estreita relação

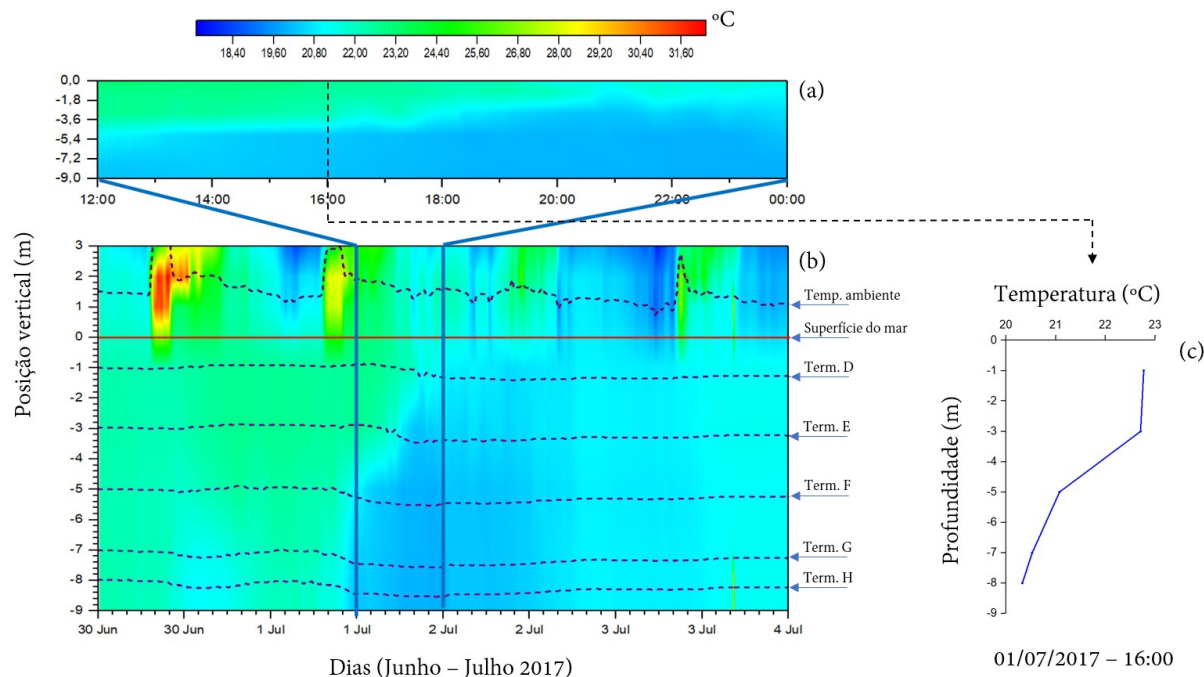


Figura 7. Medidas de gradiente térmico realizadas no período de 30/06/2017 a 04/07/2017. Destaque para o gradiente térmico persistente entre os dias 01/07/2017 e 02/07/2017 (a,b). O perfil de temperatura em 01/07/2017 – 16:00 (c) evidenciou um gradiente de cerca de 3°C entre a superfície e o fundo.

entre a componente meridional (norte-sul) do vento e a temperatura da água dentro da enseada já foi evidenciada anteriormente. Cernicchiaro *et al.* (2013) observou a queda da temperatura quando o vento muda para o sul, caracterizando a entrada de frentes frias. Por outro lado, a utilização de uma cadeia de termômetros neste trabalho permitiu observar que a queda de temperatura não ocorre de forma homogênea na coluna d'água. Um gradiente térmico se formou após uma alteração significativa da direção do vento e a consequente advecção da água oceânica mais fria pelo Boqueirão Sul. A Figura 8 apresenta os dados de vento (intensidade e direção) em comparação com as séries temporais de temperatura na superfície e no fundo, evidenciando a relação entre a alteração da direção do vento e a formação do gradiente térmico entre os dias 01 e 02 de julho de 2017. Por ser mais densa, a água fria se deslocou sob a mais quente e essa é a razão do resfriamento ter sido iniciado pelo fundo.

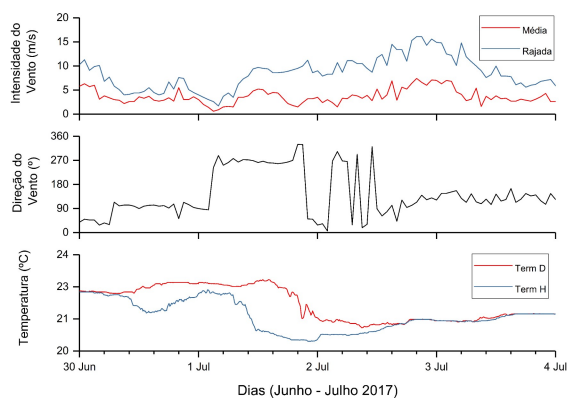


Figura 8 - Séries temporais de vento e temperatura para o período de 30/06/2017 a 04/07/2017.

4 Conclusão

A comparação dos registros feitos no interior da enseada com a observação dos processos que ocorrem afastados da costa servirá de ferramenta para entender como estes processos podem ser previstos e/ou influenciar a dinâmica oceânica no interior da enseada. A adequação deste projeto à infraestrutura atual permite ainda o monitoramento contínuo e o envio dos dados em tempo real via RF para uma estação remota de monitoramento. Os resultados experimentais demonstram a viabilidade técnica do modelo proposto.

As perspectivas de trabalhos futuros incluem a montagem de um novo arranjo de termômetros espaçados a cada metro para cobrir com maior resolução espacial a coluna d'água. Será implementado também um dispositivo de memória para armazenamento local dos dados como redundância para o caso de inoperância da estação remota e/ou ocorrência de alguma sombra que venha interferir na transmissão RF.

A capacidade demonstrada por este sistema de monitoramento de temperatura de uma coluna d'água possibilita melhor compreensão dos fenômenos oceanográficos e sua possível influência na atmosfera e na biota. O gradiente de temperatura, associado ao monitoramento da maré e dos ventos na região permitirá distinguir a contribuição isolada de cada força geradora de corrente marinha.

Agradecimentos

Ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) por permitir a utilização da estação

maregráfica do Porto do Forno – Arraial do Cabo - RJ como plataforma de desenvolvimento.

Referências Bibliográficas

- ABNT (2000) 'NBR 14610:2000 - Indicador de temperatura com sensor - Calibração por comparação com instrumento padrão'.
- Atmel (no date) *AVR318: Dallas 1-Wire Master on tinyAVR and megaAVR Table of Contents, Application Note*.
- Bri, D., Garcia, M., Lloret, J. and Dini, P. (2009) 'Real Deployments of Wireless Sensor Networks', in *2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications*. IEEE, pp. 415–423. doi: 10.1109/SENSORCOMM.2009.69.
- Calado, L., C. Paula, A. and A Mattos, R. (2013) *Aquisição de Dados Oceanográficos com Aeronave de Asa Rotativa (Projeto DOCAAR), Pesquisa Naval*.
- Calado, L., da Silveira, I. C. A., Gangopadhyay, A. and de Castro, B. M. (2010) 'Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil)', *Continental Shelf Research*. Pergamon, 30(10–11), pp. 1181–1188. doi: 10.1016/J.CSR.2010.03.007.
- Cernicchiaro, G., Johanna, C., H.Leandro, T., Russano, P. and Candella, R. (2013) *Desenvolvimento de um sensor para monitoramento de dados ambientais baseado em tecnologia de fibra óptica, A resurgência*.
- Codato, G., Calado, L., Watanabe, W. B., Martins, N. and Ramos, A. E. A. (2012) 'O efeito da ressurgência costeira de Cabo Frio na Propagação Acústica Submarina', *A Ressurgência (Niterói)*, 6, p. 28.
- Dusen, M. S. Van (1925) 'PLATINUM-RESISTANCE THERMOMETRY AT LOW TEMPERATURES 1', *Journal of the American Chemical Society*. American Chemical Society, 47(2), pp. 326–332. doi: 10.1021/ja01679a007.
- Hetzel, Y., Pattiaratchi, C. and Mihanović, H. (2018) 'Exchange Flow Variability between Hypersaline Shark Bay and the Ocean'. Preprints. doi: 10.20944/PREPRINTS201803.0175.V1.
- IEAPM (no date a) *IEAPM e CBPF firmam parceria* | IEAPM. Available at: https://www.ieapm.mar.mil.br/noticia_parceria_CBPF (Accessed: 31 March 2018).
- IEAPM (no date b) *Oceanografia Física* | IEAPM. Available at: https://www.marinha.mil.br/ieapm/pesquisa_servicos_oceanografia_fisica (Accessed: 30 March 2018).
- Maxim (2008) *Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire ® Networks 1-Wire Network Topologies, Network*.
- Maxim (2015) *Datasheet DS18B20*.
- McGlashan, M. . (1990) 'The international temperature scale of 1990 (ITS-90)', *The Journal of Chemical Thermodynamics*. Academic Press, 22(7), pp. 653–663. doi: 10.1016/0021-9614(90)90018-L.
- Oceanography for Everyone* (no date). Available at: <http://oceanographyforeveryone.com/> (Accessed: 31 March 2018).
- Ouellet Jobin, V. and Beisner, B. E. (2014) 'Deep chlorophyll maxima, spatial overlap and diversity in phytoplankton exposed to experimentally altered thermal stratification', *Journal of Plankton Research*. Oxford University Press, 36(4), pp. 933–942. doi: 10.1093/plankt/fbu036.
- Rodrigues, R. R. and Lorenzzetti, J. A. (2001) 'A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling', *Continental Shelf Research*, 21(4), pp. 371–394. doi: 10.1016/S0278-4343(00)00094-7.
- Silvestrova, K. P., Zatsepin, A. G. and Myslenkov, S. A. (2017) 'Coastal upwelling in the Gelendzhik area of the Black Sea: Effect of wind and dynamics', *Oceanology*. Pleiades Publishing, 57(4), pp. 469–477. doi: 10.1134/S0001437017040178.
- The Cave Pearl Project* (no date). Available at: <https://thecavepearlproject.org/> (Accessed: 31 March 2018).
- Walter, R. K., Armenta, K. J., Shearer, B., Robbins, I. and Steinbeck, J. (2018) 'Coastal upwelling seasonality and variability of temperature and chlorophyll in a small coastal embayment', *Continental Shelf Research*. Pergamon, 154, pp. 9–18. doi: 10.1016/J.CSR.2018.01.002.
- Woodson, C. B., Eerkes-Medrano, D. I., Flores-Morales, A., Foley, M. M., Henkel, S. K., Hessler-Lewis, M., Jacinto, D., Needles, L., Nishizaki, M. T., O'Leary, J., Ostrander, C. E., Pespeni, M., Schwager, K. B., Tyburczy, J. A., Weersing, K. A., Kirincich, A. R., Barth, J. A., McManus, M. A. and Washburn, L. (2007) 'Local diurnal upwelling driven by sea breezes in northern Monterey Bay', *Continental Shelf Research*. Pergamon, 27(18), pp. 2289–2302. doi: 10.1016/J.CSR.2007.05.014.