

# USO DE REDES DE SENSORES SEM FIO NO MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO NICTEMERAL DO CARANGUEJO-UÇÁ (*Ucides cordatus* Linnaeus, 1763)

Gracielly C. Fontes Cardoso<sup>1</sup>, Heleno Fülber<sup>1</sup>, Marcus Vinícius de Sousa Lemos<sup>2</sup>,  
Bruno Merlin<sup>1</sup>, Marcus Emanuel Barroncas Fernandes<sup>3</sup>, Darlan de Jesus de Brito  
Simith<sup>3</sup>, Walbert Cunha Monteiro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada (PPCA) – Universidade Federal do Pará (UFPA) - 68464-000 – Tucuruí – PA – Brasil.

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) – Universidade Estadual do Piauí (UESPI) 64002-150 – Teresina – PI – Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Biologia Ambiental (PPBA) - Universidade Federal do Pará (UFPA) - 68600-000 - Bragança - PA - Brasil

<sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - 68600-000 - Bragança - PA - Brasil

{gracy.pesquisa, fulber, marvinlemons, bruno.merlin}@gmail.com,  
mebf@ufpa.br, simithdjb@hotmail.com, walbert.monteiro@ifpa.edu.br

**Abstract.** *Wireless Sensor Networks (RSSF) have been applied in environments with different contexts. One of the advantages of its use is low intrusion, made possible by remote monitoring that allows the observation of data without the need for invasion of the habitat of some species. In this article, we present the design and implementation of an RSSF that monitors environmental variables and the behavior of the uçá crab (*Ucides cordatus*). According to the results obtained in the study, it was identified that the WSN are suitable for collecting data in the mangrove ecosystem efficiently. Such information can be used in decision-making by regulatory agencies that manage the management of this resource.*

**Resumo.** *As Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) vêm sendo aplicadas em ambientes de diferentes contextos. Uma das vantagens de sua utilização é a baixa intrusão, possibilitada pelo monitoramento remoto que permite a observação dos dados sem a necessidade de invasão do habitat de algumas espécies. Neste artigo, apresentamos o projeto e implementação de uma RSSF que realiza o monitoramento de variáveis ambientais e do comportamento do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*). De acordo com os resultados obtidos no estudo foi identificado que as RSSF são adequadas para coleta de dados no ecossistema de manguezais de forma eficiente. Tais informações podem ser utilizadas na tomada de decisões das agências reguladoras que gerenciam o manejo deste recurso.*

## 1 - INTRODUÇÃO

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) ganharam popularidade na comunidade científica por fornecerem uma infraestrutura promissora para numerosas aplicações de controle e monitoramento [Xu;Shen;Wang 2014; De la Piedra et al. 2013; Oliveira; Rodrigues 2011]. Essas redes permitem o desenvolvimento de novas classes de aplicações com potencial para beneficiar um grande número de áreas da ciência, especialmente as ciências ambientais, destacando-se o uso no monitoramento ambiental [Alhmiedat 2015; Carvalho et al. 2012], bem como de variáveis abióticas relativas aos estudos ecológicos de diferentes espécies animais [Dressler et al. 2016; Radoi; Mann; Arvind 2015].

Uma RSSF pode ser definida como um conjunto de dispositivos denominados de nós (ou nodos) sensores, organizados em uma rede computacional sem fio, cooperando entre si e conectados a um nó sorvedouro (*sink*) ou estação de controle. Um nó tem a capacidade de processar e armazenar sensores de diferentes domínios, exemplos: sísmico, infravermelho, magnético, químico, biológico, etc. Em relação às RSSF, o nó sorvedouro tem a capacidade de gerenciar os dados encaminhados pelo referido grupo de nós associados bem como em alguns casos realizar a transmissão de dados processados para maiores distâncias [Parra et al. 2015; Carvalho et al. 2012; Sousa; Lopes 2011].

Avanços nas RSSF e na microeletrônica permitiram o desenvolvimento de sensores pequenos, com baixo consumo de energia, acessíveis economicamente, com maior capacidade de processamento e de comunicação, possuindo maior resistência a intempéries e em alguns casos funcionando como atuadores [Oliveira; Rodrigues 2011]. Neste contexto, a baixa intrusão torna-se uma característica fundamental para o monitoramento ambiental, seja para observar a biodiversidade ou estudar eventos comportamentais de uma determinada espécie.

As aplicações de monitoramento ambiental são categorizadas a partir da sua área de implantação: *indoor* ou *outdoor* [Alhmeidat 2015]. Destaca-se como *indoor* o uso das RSSF em locais fechados como casas, edifícios, laboratórios, etc, e *outdoor* em locais como: ecossistemas urbanos, terrestres, marinhos e etc. [Chen; Chuang; Jiang 2013; Oliveira; Rodrigues 2011]. Desta forma, um ecossistema pode ser definido como um conjunto formado pelas interações entre componentes bióticos e abióticos que interagem entre si e entre os demais elementos de seu ambiente [Begon; Townsend;

Herper 2007]. Neste cenário, destacam-se os manguezais sendo um ecossistema de elevada produtividade biológica, que ocorrem em todas as regiões costeiras tropicais e subtropicais do mundo e caracteriza-se pelo sedimento lamoso, inconsolidado, anaeróbico e salino, com inundação diária pelas águas das marés [Hogarth 2015].

Nos manguezais, o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) apresenta grande importância ecológica por ter participação direta na ciclagem de matéria orgânica. Da mesma forma, essa espécie de caranguejo é de alta relevância para a economia e subsistência das comunidades estuarino-costeiras tradicionais [Jankowsky et al. 2018], pois a prática do extrativismo dessa espécie representa tanto uma fonte de alimento, quanto de renda para as populações humanas que dependem dos recursos dos manguezais [Damasco et al. 2017].

O estudo de [Naylor 2010] observa que o conhecimento da ritmicidade e a previsibilidade do comportamento das espécies exploradas é de grande importância para sua gestão e conservação. Assim, o estudo do comportamento reprodutivo de *U. cordatus* pode ser utilizado para a criação de regras de ordenamento, orientação e tomada de decisões relacionadas ao manejo desse recurso [Wunderlich et al. 2008]. O período de acasalamento, por exemplo, também conhecido como fenômeno da “andada” ou suatá [Nascimento 1993], é a fase mais vulnerável dessa espécie. Nesse período os animais ficam fora de suas tocas andando pelo manguezal, expondo-se aos predadores e à ação dos pescadores de caranguejo [Sampaio et al. 2011]. Visando compreender de forma ampla este fenômeno, é importante a geração de informações através do monitoramento do comportamento dessa espécie ao longo de um ciclo anual, para melhor registrar os processos relacionados à sua reprodução e, assim, melhor compreender a ritmicidade, reprodutividade, auxiliando nas boas práticas de manejo e defesa deste recurso.

No âmbito do monitoramento ambiental, o Laboratório de Ecologia de Manguezal – LAMA, que integra a Faculdade de Ciências Biológicas, do Instituto de Estudos Costeiros – IECOS da Universidade Federal do Pará, desenvolve várias pesquisas relacionadas a este ecossistema. O caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) é estudado pela sua importância no ecossistema e por ser considerado recurso econômico de subsistência nas áreas de manguezal [Jankowsky et al. 2018]. A pesquisa de campo muitas vezes é adotada como metodologia de coleta de dados de alguns trabalhos [Neto;

Alexandre; Gesteira 2020; Sant'Anna et al. 2014; Amaral et al. 2014; Castiglioni et al. 2013], neste procedimento os pesquisadores coletam dados *in situ* nos ambientes de estudo. Tal método torna-se trabalhoso e por vezes perigoso, não permitindo em alguns casos a aquisição de dados em tempo real de forma contínua. Neste cenário, as técnicas utilizadas em RSSF permitem que os processos sejam realizados com menor intervenção humana. Para o estudo de espécies com animais selvagens, observa-se que o foco tem sido sistemas que monitoram de forma não intrusiva seu comportamento e mudanças ambientais que levam a problemas comportamentais e específicos da espécie [Jukan et al. 2017; Arampatzis et al. 2005; Akyildiz et al. 2002].

O estudo está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 contém os trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve o método de pesquisa conduzido, o cenário onde o projeto foi aplicado e a implementação da arquitetura desenvolvida; Seção 4 encontram-se os resultados e as discussões desta pesquisa; a Seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## **2. TRABALHOS RELACIONADOS**

Para a melhor compreensão das RSSF relacionadas ao monitoramento ambiental, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) em busca de evidências técnico-científicas que apontassem quais as técnicas estão sendo aplicadas neste segmento. Os principais trabalhos relacionados ao tema são apresentados abaixo.

O trabalho de [Balbin et al. 2017] realizado nas áreas de manguezais de Barangay Calibuyo, Tanza, localizadas na República das Filipinas, propõe um sistema de monitoramento da salinidade e temperatura desse ecossistema. Este estudo implementa uma solução de baixo custo que controla o fluxo de água doce de reservatórios que inundam as áreas analisadas. Para a coleta de dados da salinidade foi utilizado o método de indução, trabalhando o conceito do transdutor e o seu desempenho foi comparado com às soluções comerciais existentes. Para o processamento dos dados foi conectado um microcontrolador arduino que transmite via ZigBee para outro módulo, servindo como receptor, o qual está conectado à uma estação de trabalho remota para permitir o registro e armazenamento dos dados. Os resultados do trabalho mostram que a

temperatura tem efeito significativo sobre o nível de salinidade da água, concluindo que quanto maior for a temperatura, menor o nível de salinidade, e vice-versa.

A pesquisa de [Gil-Lebrero et al. 2016], denominada *WBee*, desenvolveu um sistema de monitoramento remoto de baixo custo para monitorar e armazenar dados sobre a temperatura e umidade relativas do ar e o peso em três colmeias distintas. O referido estudo permitiu analisar custos para o desenvolvimento do protótipo, a confiabilidade do sistema de monitoramento e a mensuração dessas variáveis em tempo real, sendo a coleta de dados realizada de forma não intrusiva. Outro trabalho [Kridi; Carvalho; Gomes 2014] também foi realizado visando o monitoramento proativo das abelhas em colmeias foi conduzido um estudo para tratar do monitoramento proativo das abelhas em colmeias através do uso de RSSF. O principal objetivo foi identificar o comportamento das abelhas em relação ao pré-aquecimento e umidade na colônia, no intuito de construir um algoritmo preditivo para analisar do possível abandono da colmeia. O trabalho analisou dados coletados ao longo de um ciclo anual (2012) de maneira ininterrupta, ou seja, durante todos os meses, dias e horas. A análise de padrões de temperatura e a comparação dos dados coletados com os de modelos propostos foram realizados. Como resultado o desenvolvimento de um algoritmo preditivo baseado em técnicas de reconhecimento de padrões capaz de detectar o aumento da temperatura da colmeia e o possível momento de abandono da colmeia pelas das abelhas foi construído com sucesso.

Por último, o trabalho de [Parra et al. 2015] teve como foco principal o monitoramento ambiental de baixo custo aplicado às áreas de manguezal. Para tanto, uma RSSF objetivando o monitoramento da salinidade e o controle de comportas de água doce de lagos e reservatórios que atingem as áreas de manguezal foi projetada. O estudo narra, em sua metodologia, o uso do módulo *Openpicus Flyport* com conectividade *Wifi* sob o protocolo IEEE 802.11g o qual apresenta um baixo consumo de energia. O pesquisador descreve o desenvolvimento de um sensor para monitoramento da salinidade nos manguezais e destaca a possibilidade de programação do referido módulo via programação computacional em linguagem C.

Os estudos encontrados na literatura evidenciam que a aplicabilidade das RSSF na área de monitoramento ambiental, resulta em melhor precisão dos dados sobre as

variáveis monitoradas para efeito de correlação com o comportamento de algumas espécies, o que é um passo importante para a melhor compreensão dos processos ecológicos. Assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar a aplicação das RSSF no auxílio do monitoramento do caranguejo-uçá no ecossistema de manguezais, através do desenvolvimento de uma arquitetura que permitirá, de forma não intrusiva o rastreamento dos indivíduos dentro da sua área de vida e a medição de variáveis ambientais. Aspectos técnicos relativos à implementação também são apresentados, como as propriedades da RSSF, conjunto de sensores, protocolos de comunicação, frequência da coleta de dados, gerenciamento energético, gestão dos dados, plataforma de coleta e comunicação ponto a ponto.

### **3. METODOLOGIA**

Nesta seção são descritos procedimentos metodológicos de construção e implantação da RSSF utilizados para monitorar as variáveis abióticas no cenário proposto. Um levantamento de diferentes estudos sobre RSSF para o monitoramento ambiental de espécies animais foi construído. Desse modo, elaborou-se uma lista das variáveis que possuem maior índice de monitoramento e apresentam indícios de interferência no habitat das espécies. Após a verificação dessas informações foi realizada entrevista semiestruturada com os pesquisadores do grupo LAMA. A partir da discussão sobre a relevância das informações geradas pelo levantamento inicial e estudos já realizados na área foram determinadas as seguintes variáveis a serem monitoradas: temperatura dentro e fora da toca, umidade do ar, luminosidade e movimentação do caranguejo (entrada e saída da toca).

Na etapa subsequente foi elaborada a proposta de arquitetura do protótipo e em seguida realizado os testes em laboratório e a validação dos mesmos em campo. O monitoramento foi realizado em uma área de manguezal localizada a 3 km da Vila do Bacuriteua, Bragança-PA (Figura 1).



Figura 1 - Mapa de localização da área onde o monitoramento foi realizado

### 3.1. ARQUITETURA DO SISTEMA

Os requisitos para o desenvolvimento da RSSF, apresentados nesta seção, devem ser atendidos: (i) disponibilidade operacional em uma área remota; (ii) monitoramento em tempo real; (iii) utilização de método minimamente invasivo. Assim, um sistema baseado no modelo hierárquico de três níveis utilizando comunicação sem fio foi selecionado.

O modelo pode ser adaptado em diferentes distribuições geográficas, permite escalabilidade e atende aos requisitos acima descritos. A Figura 2 apresenta a estrutura

geral do sistema aqui descrito neste trabalho. No nível mais baixo apresentam-se os nós sem fio que irão monitorar o caranguejo-uçá, utilizando tecnologia de radiofrequência e protocolo Zigbee para transmissão dos dados. No segundo nível, gerenciando a rede sem fio, temos a estação de controle com placa arduino e sensores de temperatura, umidade e luminosidade. Neste nível, é feito a coleta das informações enviadas por cada nó e a realização da transmissão para o armazenamento dos dados por meio de outra rede de comunicação que permite distâncias maiores, como GPRS. Por último, o nível superior contém o banco de dados do servidor em nuvem.

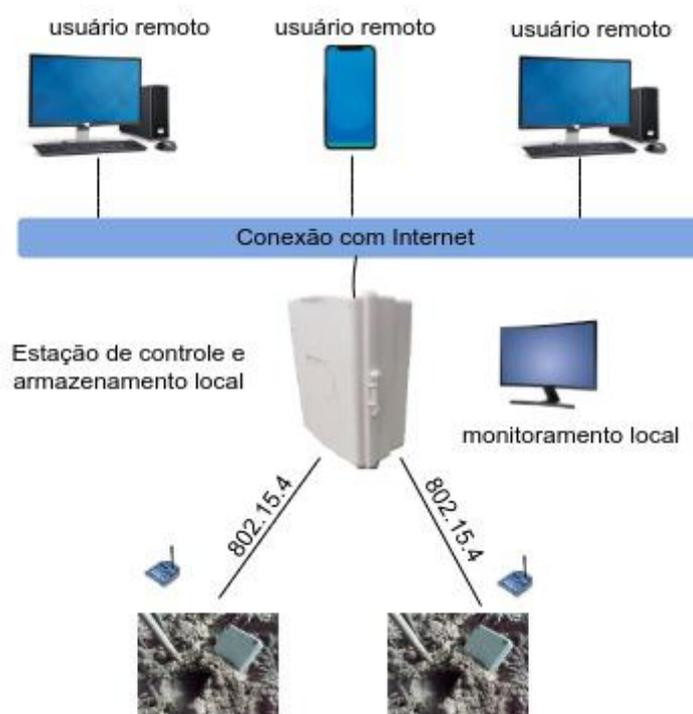


Figura 2 - Arquitetura da Rede de Sensores Sem Fio

### 3.2. IMPLANTAÇÃO DOS NÓS E ESTAÇÃO DE CONTROLE

Para a implantação dos nós e da estação de controle, foram utilizadas placas Arduino com microcontrolador ATMEGA328P, funcionando a 16MHz e 16GB de armazenamento não volátil. Uma bateria de 6v 12Ah fornece a energia necessária para a operação da estação de controle. Para o funcionamento adequado do GPRS foi necessário a utilização do regulador de tensão LM2596, tendo em vista que o módulo necessita de uma tensão de 4.1v. Para o nó foi utilizada uma bateria de 6v 4.5Ah.

O protótipo foi projetado para tornar-se uma estação de monitoramento ambiental (Figura 3). O módulo possui sensores que monitoram as variações nas condições do ambiente e na movimentação do caranguejo. Para obter dados com maior precisão são usados sensores de temperatura do ar, umidade, luminosidade, temperatura da toca e identificação por radiofrequência.

O módulo utilizado para medir temperatura do ar e umidade do ar é um sensor digital fabricado pela *Aosong*. O sensor tem uma precisão nas medições de temperatura de  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e abrange a faixa de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , com tempo de resposta de 1s e um consumo máximo de corrente de 0,5 mA. A umidade é fornecida com precisão de  $\pm 2\%$  RH, possuindo uma resolução de 0,1% RH e faixa de aferição de 0 a 100%.



**Figura 3 - Protótipo implantado**

O sensor responsável por medir a temperatura da toca é da fabricante Dallas, fornecendo leituras de 9 a 11 bits. A comunicação é feita através de um protocolo de barramento de um fio utilizando uma linha de dados para a ligação com o microprocessador interno. A faixa de operação é de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ , possuindo uma precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , o sensor possui revestimento de aço inoxidável na carcaça do cabeçote, tornando-o à prova d'água.

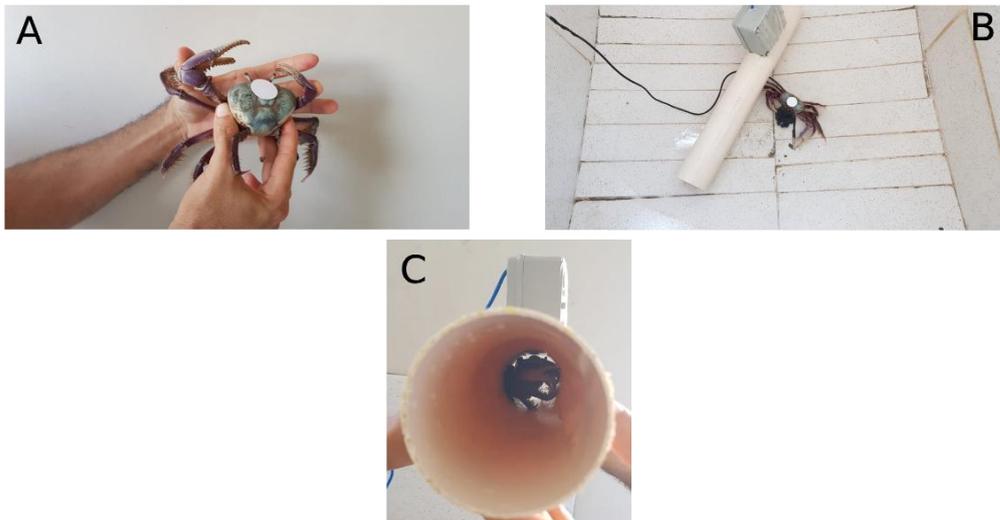
A luminosidade é aferida através de um fotoresistor (Resistor Dependente de Luz - RDL) que possui variação de resistência de acordo com a intensidade da luz, quanto maior for a incidência de luz sobre o componente, menor será a resistência. Possui potência máxima de 100mW.

Para o monitoramento do caranguejo na toca foram utilizados dois módulos de identificação por radiofrequência (RFID). O leitor RFID MFRC522 desenvolvido pela NXP é utilizado para comunicação sem fio e possui frequência de 13,56 MHz, tensão de 3.3v e utiliza a interface SPI com taxa de transferência de 10 Mbit/s. Foi implantada uma etiqueta passiva para identificação do leitor, a frequência utilizada é de 13,56 Mhz, medindo 25 x 1mm, alcançando leituras a 2.8 cm e velocidade de 1 a 2ms. A etiqueta possui revestimento em PVC rígido para permitir leituras embaixo d'água. O módulo RDM6300 utiliza interface TTL RS232, opera com a tensão de 5v, trabalha na frequência de 125 KHz e possui antena externa que alcança até 3 cm na identificação. A etiqueta utilizada com o referido módulo possui frequência 125 KHz, revestida com material ABS resistente à água.

### **3.3. MONITORAMENTO DA RSSF E COLETA DOS DADOS**

O protótipo (Figura 3), com a estação de controle e os nós foram testados inicialmente em laboratório e, posteriormente, em campo. Para os testes em laboratório foram utilizados dois caranguejos (Figura 4A), adquiridos na feira da cidade, cujo tamanho das carapaças tinham em média  $\pm 6$  cm de largura. O caixa com o leitor RFID foi adaptado em cano PVC com 7 cm de diâmetro, simulando uma toca para averiguação da adaptação da etiqueta no caranguejo, distância da leitura e movimentação do caranguejo na toca simulada (Figura 4B e 4C).

A estação de controle também foi observada quanto à aferição de variáveis, armazenamento local e remoto. Após os testes os caranguejos foram devolvidos ao seu habitat sem danos físicos.



**Figura 4 - Procedimentos usados no teste da RSSF no laboratório. A) Etiqueta implantada, B) Ambiente simulado, C) Leitura da etiqueta**

Em campo foram escolhidas duas tocas em uso pelo caranguejo-uçá. Para uma melhor adaptação da caixa foram selecionadas tocas que não tivessem raízes em seu entorno, também foi avaliada a textura da lama para que a fixação da caixa não fosse afetada com a subida da maré.

A Figura 5 mostra o procedimento em campo para o teste da RSSF. Após a seleção das tocas e com o auxílio de um pescador, os caranguejos foram capturados com técnica de braceamento (Figura 5C) e gancho. Em seguida, foi observado que a carapaça tinha  $\pm 5$  cm de largura e que o tamanho era adequado para a implantação da etiqueta. A carapaça foi limpa e a implantação foi concluída com êxito (Figura 5A e 5B), os animais foram devolvidos às suas respectivas tocas e a caixa com o leitor (Figura 5D) foi fixada sobre a lama no mesmo nível da abertura da toca. Os sensores ambientais foram ativados com o início do ciclo da bateria. Os dados foram coletados durante 24 horas ininterruptas e armazenados localmente.



Figura 5 - Procedimentos usados no teste da RSSF no campo. A) Etiqueta 1, B) Etiqueta 2, C) Técnica de coleta, D) Leitor RFID.

#### 4. RESULTADOS

Em geral, os resultados do monitoramento realizado com os caranguejos, em ambiente de laboratório e em ambiente natural, responderam às expectativas dos objetivos da presente proposta. O módulo RDM6300 fez a leitura de três movimentações do caranguejo somente no decorrer da maré baixa (Figura 6A). Vale ressaltar que este módulo trabalha com antena externa e consegue uma maior cobertura no sinal enviado à etiqueta. Nesta toca, também foi obtido sucesso quanto as leituras das variáveis ambientais no seu interior, assim como o armazenamento local

Os testes realizados com o módulo MFRC522, em ambiente de laboratório, apresentaram dados limitados quanto à movimentação do caranguejo, tendo em vista que o mesmo, por não estar em seu habitat natural, realizou movimentos circulares dentro do cano PVC dificultando a leitura da etiqueta. Após algumas tentativas a etiqueta foi reconhecida pelo leitor, da mesma forma que a leitura à distância também foi realizada com sucesso. Contudo, as limitações apresentadas em laboratório foram

confirmadas no monitoramento realizado em campo. O mesmo módulo (MFRC522), no monitoramento em campo não identificou movimentação do caranguejo na primeira toca, embora tenham sido identificados rastros desse crustáceo na entrada dessa toca, indicando que o leitor não se adaptou àquele cenário. O envio de dados via rede GPRS ficou comprometido pela falta de cobertura em função do aumento da distância.

Os sensores de luminosidade e umidade do ar funcionaram com sucesso (Figura 6B e 6E). Da mesma forma os sensores de temperatura do ar dentro e fora da toca funcionaram adequadamente, mostrando uma tendência similar durante o meio da tarde até o início da manhã, em torno das 05:00-06:00 h, quando as tendências se invertem, a temperatura dentro da toca tende a baixar enquanto a do lado de fora aumenta (Figura 6D e 6E).

A energia utilizada no protótipo contemplou o período total da coleta, para tanto é importante ressaltar que nas coletas feitas em laboratório o tempo de vida da rede foi de 48hs e foi identificado um alto consumo de energia pelo módulo GPRS.

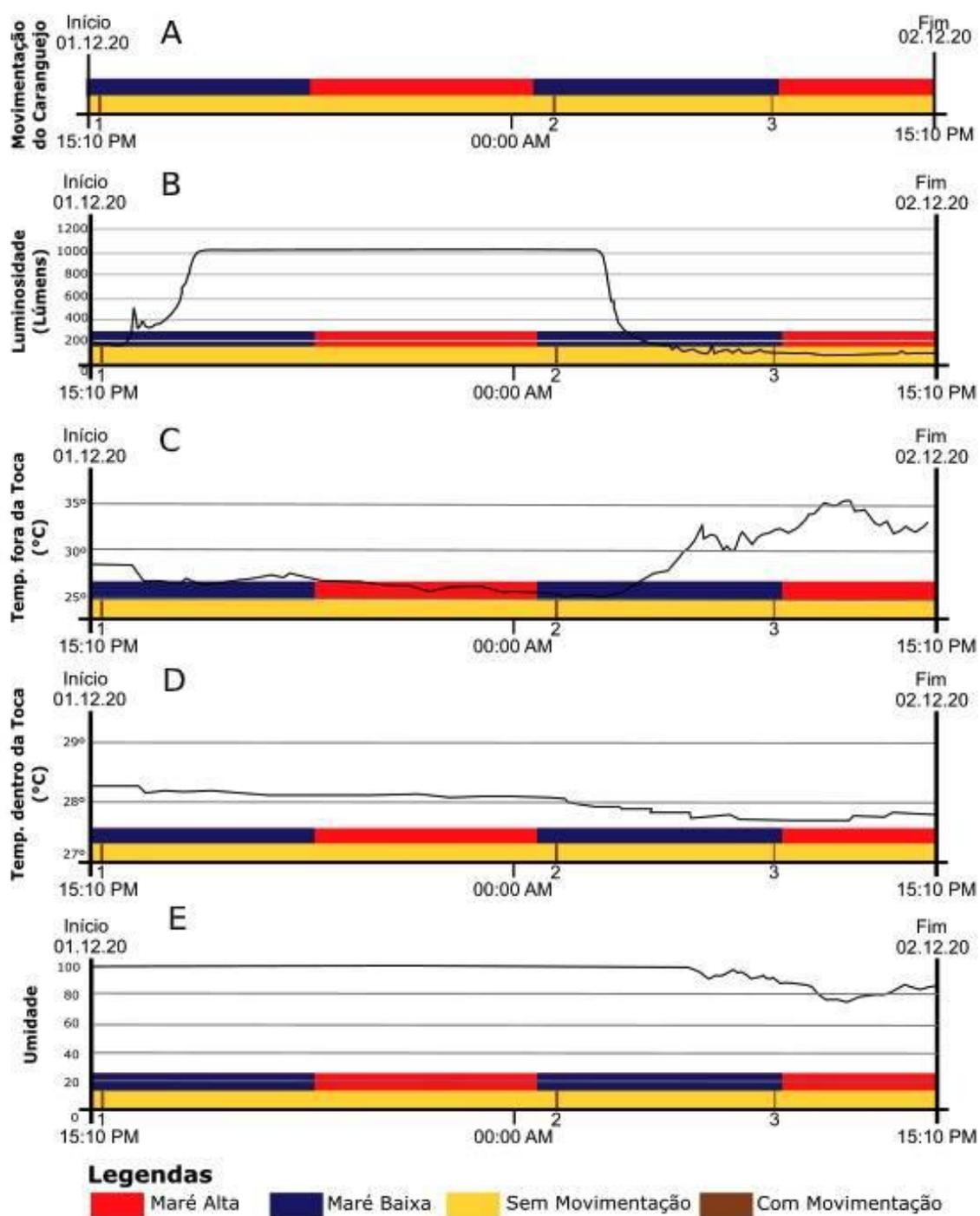


Figura 6 - Monitoramento da movimentação do caranguejo (saída e entrada da toca -pontos 1, 2 e 3) em relação às variáveis ambientais em área de manguezal. A) Movimentação do caranguejo, B) Luminosidade, C) Temperatura do ar fora da toca, D) Temperatura dentro da toca, E) Umidade do ar.

Por fim, os resultados mostram que o módulo RDM6300 apresentou um bom desempenho em ambiente natural, no manguezal, e no ambiente de laboratório,

considerando que o mesmo obteve êxito na leitura da etiqueta implantada no caranguejo permitindo, portanto, o monitoramento de sua movimentação ao longo do período do experimento. Ao contrário, o módulo MFRC 522, que também utiliza a tecnologia RFID, não obteve sucesso na leitura da etiqueta, não apresentando registros mesmo sendo confirmada a movimentação do caranguejo através dos rastros na entrada da toca. As variáveis ambientais aqui monitoradas, por sua vez, foram todas coletadas com sucesso, indicando que os sensores escolhidos para aferição adaptaram-se às condições do manguezal e foram capazes de registrar os dados de forma não intrusiva

## **5. CONCLUSÕES**

O trabalho aqui proposto apresentou um sistema de RSSF para uso em monitoramento ambiental, buscando mostrar que esse sistema pode ser utilizados de forma eficaz no monitoramento de diferentes variáveis, com a menor intrusão possível, no ecossistema manguezal. De acordo com os resultados pode-se concluir que a tecnologia apresentada para aferição das variáveis ambientais é adequada para as condições nesse ecossistema, demonstrando, portanto, ser adaptável a outros ambientes com características similares ao aplicado no presente estudo. Quanto à tecnologia RFID comprovou-se que com a escolha adequada do módulo pode-se obter resultados que atendam às necessidades de monitoramento da espécie em questão.

Constatou-se ainda que a eficiência energética pode se tornar um problema à medida que os pontos de coleta aumentem e a rede torne-se mais complexa. Uma solução seria a utilização de energia solar para recarregar as baterias ligadas ao sistema. Outro ponto a ser ressaltado é que a tecnologia utilizada pelo módulo GPRS/GSM não se comportou de forma adequada quanto à transmissão de dados ao servidor remoto. Portanto, ainda são necessárias serem realizadas avaliações de módulos que possuem antenas com alcances maiores. Como trabalhos futuros devemos aumentar o número de pontos de coleta, desta forma a RSSF será ampliada e novas técnicas de comunicação, roteamento de informações e eficiência energética podem gerar resultados para uma nova implantação.

O trabalho proposto demonstrou que o principal objetivo foi alcançado, validando-se o fato de que é possível fazer coletas de forma contínua, ou seja, proceder

atividade de monitoramento, e com a mínima intrusão possível. A medida que a rede de sensores for ampliada, as informações geradas poderão auxiliar na ampliação do zona entremarés. Tal conhecimento, gerado a partir da implantação desse sistema de registro de dados, certamente vão subsidiar as agências reguladoras na regulação do ordenamento, como o defeso da espécie, bem como no manejo e conservação dessa espécie de grande relevância ecológica e econômica para as populações humanas que dependem dos recursos do manguezal.

## 6. REFERÊNCIAS

Akyildiz, Ian F., et al. "A survey on sensor networks." *IEEE Communications magazine* 40.8 (2002): 102-114.

Alhmiedat, Tareq. "A Survey on Environmental Monitoring Systems using Wireless Sensor Networks." *J. Networks* 10.11 (2015): 606-615.

Amaral, Kárlia Dalla Santa, et al. "Bioecology of the crab *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) in mangroves influenced by the Amazon River, Brazil." *Acta Amazonica* 44.2 (2014): 213-222.

Arampatzis, Th, John Lygeros, and Stamatis Manesis. "A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks." *Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation Intelligent Control, 2005.. IEEE, 2005.*

Balbin, Jessie R., and Mary Joy S. delos Reyes. "Development and implementation of low cost salinity and temperature monitoring system for mangrove forest." *2017IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*. IEEE, 2017.Boeger, Walter A., et al. "Histopathology of the mangrove land crab *Ucides cordatus* (Ocypodidae) affected by lethargic crab disease." *Diseases of aquatic organisms* 78.1 (2007): 73-81.

Begon, M.; Townsend, C. R.; Harper, J. L. 2007 *Ecologia - de Individuos a Ecosystemas*. Porto Alegre, Artmed. 740p.

- Castiglioni, Daniela da Silva, Daiana da Silva-Castiglioni, and Paloma Joana Albuquerque de Oliveira. "Biologia reprodutiva de *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763)(Crustacea, Brachyura, Ucididae) em duas áreas de manguezal do litoral sul do Estado de Pernambuco, Brasil." *Revista de Gestão Costeira Integrada* 13.4 (2013): 433-444.
- Chen, Chia-Pang, Cheng-Long Chuang, and Joe-Air Jiang. "Ecological Monitoring Using Wireless Sensor Networks—Overview, Challenges, and Opportunities." *Advancement in Sensing Technology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. 1-21.
- Damasco, Lendl Sam A., et al. "Automated conditioning system for mangrove nursery." *TENCON 2017-2017 IEEE Region 10 Conference*. IEEE, 2017.
- De Carvalho, Fabrício Braga S., et al. "Aplicações ambientais de redes de sensores sem fio." *Revista de tecnologia da informação e comunicação* 2.1 (2012): 14-19.
- De La Piedra, Antonio, et al. "Wireless sensor networks for environmental research: A survey on limitations and challenges." *Eurocon 2013*. IEEE, 2013.
- Diele, Karen. "Life history and population structure of the exploited mangrove crab *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763)(Decapoda: Brachyura) in the Caeté Estuary, North Brazil." Doctor Thesis, Universidade de Bremen, Bremen, 116p (2000).
- Dressler, Falko, et al. "From radio telemetry to ultra-low-power sensor networks: tracking bats in the wild." *IEEE Communications Magazine* 54.1 (2016): 129-135.
- Gil-Lebrero, Sergio, et al. "Honey bee colonies remote monitoring system." *Sensors* 17.1 (2017): 55.
- Hogarth, Peter J. *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press, 2015.
- Jankowsky, Mayra, José Salatiel Rodrigues Pires, and Nivaldo Nordi. "Contribuição ao manejo participativo do caranguejo-uca, *Ucides cordatus* (L., 1763), em Cananéia-SP." *Boletim do Instituto de Pesca* 32.2 (2018): 221-228.

- Kridi, Douglas Santiago, Carlos Giovanni Nunes de Carvalho, and Danielo Gonçalves Gomes. "A predictive algorithm for mitigate swarming bees through proactive monitoring via wireless sensor networks." Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks. 2014.
- Naylor, Ernest. Chronobiology of marine organisms. Cambridge University Press, 2010.
- Nascimento, Solange Alves. Biologia do caranguejo-uçá *Ucides cordatus*. Adema, 1993.
- Valentim-Neto, Pedro Alexandre, and Tereza Cristina Vasconcelos Gesteira. "Health State, morphological characterization and biometric parameters in the mangrove crab *Ucides cordatus* Linnaeus, 1763 (Brachyura: Ocypodidae)." *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 42 (2020): e47430-e47430.
- Oliveira, Luís ML, and Joel JPC Rodrigues. "Wireless Sensor Networks: A Survey on Environmental Monitoring." *JCM* 6.2 (2011): 143-151.
- Parra, Lorena, et al. "Design and deployment of a smart system for data gathering in estuaries using wireless sensor networks." 2015 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS). IEEE, 2015.
- Radoi, Ion Emilian, Janek Mann, and D. K. Arvind. "Tracking and monitoring horses in the wild using wireless sensor networks." 2015 IEEE 11th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). IEEE, 2015.
- Sampaio, Flávia Duarte Ferraz, et al. "DETERMINAÇÃO DO PERÍODO REPRODUTIVO E DO TAMANHO DE MATURAÇÃO FUNCIONAL DOS OVÁRIOS DE UCIDES CORDATUS (LINNAEUS, 1763)(BRACHYURA, OCYPODIDAE) NA BAÍA DE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO." *Archives of Veterinary Science* 16.3 (2011).
- Sant'anna, Bruno S., et al. "Reproduction and management of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea, Brachyura, Ucididae) at Iguape, São Paulo, Brazil." *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86.3 (2014): 1411-1421.

- Sousa, Marcelo Portela, and Waslon Terllizzie A. Lopes. "Desafios em Redes de Sensores sem Fio." revista de Tecnologia da Informação e Comunicação 1.1 (2011): 41-47.
- Wang, Le, et al. "A review of remote sensing for mangrove forests: 1956–2018." Remote Sensing of Environment 231 (2019): 111223.
- Xu, Guobao, Weiming Shen, and Xianbin Wang. "Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A survey." Sensors 14.9 (2014): 16932-16954.
- Valentim-Neto, Pedro Alexandre, and Tereza Cristina Vasconcelos Gesteira. "Health State, morphological characterization and biometric parameters in the mangrove crab *Ucides cordatus* Linnaeus, 1763 (Brachyura: Ocypodidae)." Acta Scientiarum. Biological Sciences 42 (2020): e47430-e47430.
- Wang, Le, et al. "A review of remote sensing for mangrove forests: 1956–2018." Remote Sensing of Environment 231 (2019): 111223.
- Wunderlich, Alison C., Marcelo AA Pinheiro, and Ana Maria T. Rodrigues. "Biologia do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Crustacea: Decapoda: Brachyura), na Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil." Revista Brasileira de Zoologia 25.2 (2008): 188-198.
- YU, Yang; KRISHNAMACHARI, Bhaskar; KUMAR, VK Prasanna. Information processing and routing in wireless sensor networks. World Scientific, 2006.
- ZHANG, Pei et al. Hardware design experiences in ZebraNet. In: Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems. ACM, 2004. p. 227-238.