



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
DIRETORIA DE PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PIBITI

1. IDENTIFICAÇÃO

Bolsista: Giorgio Arlan da Silva Picanço

E-mail: giorgiopicanco@gmail.com

Telefone: +55 93 9 9224 9437

Título do Plano de Trabalho: Desenvolvimento e implementação de uma Rede de Sensores Sem Fios de baixo custo para aquisição em tempo real de dados ambientais na Flona do Tapajós – PA

Título do Projeto ao qual está vinculado o plano de trabalho: Biogeofísica da Região Amazônica e Modelagem Ambiental – BRAMA

Orientador: Julio Tota da Silva

E-mail do orientador: totaju@gmail.com

Telefone: +55 93 9 9175 1285

Instituto: IEG

Bolsa: () PIBITI/UFOPA

(x) PIBITI/CNPq

Vigência da bolsa: 01/08/2015 até 31/07/2016

Relatório parcial ()

Relatório final (x)

Período do relatório: 01/08/2015 até 31/07/2016

2. INTRODUÇÃO

Devido às constantes mudanças de clima e tempo no cenário amazônico, o monitoramento das variáveis ambientais se mostra uma ferramenta muito importante para a compreensão dos efeitos dos processos naturais que abrangem o sistema biosfera-atmosfera; ao qual ainda se atribuem inúmeras incógnitas, tanto em caráter natural quanto em caráter antrópico. Em resposta a essa necessidade, estudos são feitos a partir da implementação de estações meteorológicas em

pontos específicos das regiões de interesse, fornecendo informações acerca de variáveis ambientais como: temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica; e, ainda, dados sobre gases de efeito estufa, como dióxido e monóxido de carbono, e outros parâmetros físicos como direção e velocidade do vento, entre outros (Salvioni e Fruett, 2013).

Com o advento dos microssores e das tecnologias de telecomunicação, surgiu uma tendência de dinamização nas técnicas de monitoramento ambiental; não só em se tratando das plataformas de aquisição, mas também, nos meios de observação (Couto Braga, 2010). Atualmente, existem dezenas de plataformas wireless de aquisição de dados ambientais no mercado. A maioria delas obedece ao diagrama estrutural das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), que é caracterizado pela aquisição, processamento e transmissão de informações de um ou mais sensores, alimentados por uma bateria independente (Dulman et al., 2006). Porém, esses instrumentos, ocasionalmente, seguem padrões comerciais característicos, tornando sua aquisição muitas vezes economicamente inviável para estudos em larga escala. Segundo Rehen et al (2010), noventa e cinco por cento dos cientistas brasileiros já deixaram de realizar uma pesquisa ou tiveram que mudar suas especificações por causa de problemas na importação de instrumentos. Isso demonstra o quanto é necessário investir no desenvolvimento de instrumentação científica em âmbito nacional.

Tendo em mente a implantação dos sistemas usuais de monitoramento, um fator de forte impacto é a necessidade de se utilizarem diversos periféricos e estruturas de grande porte para prover energia e registro de dados. Essa demanda faz com que a estrutura e a logística de instalação e armazenamento prevejam o uso de grandes quantidades de cabos, que por sua vez apresentam um volume e peso consideráveis na aplicação das pesquisas, realizadas quase sempre em áreas de difícil acesso. Isso, em grande parte, torna muito caro ou inviável o monitoramento em larga escala do ambiente de interesse, o que implica em uma diminuição considerável da acurácia distributiva do monitoramento ambiental (*footprint*) baseado na amostragem regional, além de tornar impraticável a sua aplicação em projetos de curta duração, devido à dificuldade de implantação dessas estruturas.

Em oposição a estes fatores, foi desenvolvido um sistema de monitoramento ambiental de baixo custo, baseado em RSSF, e capaz de monitorar remotamente e de forma contínua variáveis ambientais em áreas de difícil acesso sem a necessidade de cabos e de estruturas complexas de energia; contando com a tecnologia de transmissão de dados por radiofrequência e trabalhando de forma autônoma com a utilização de um sistema fotovoltaico. Dessa forma, buscou-se a contribuição para uma maior dinâmica no processo de aquisição de dados ambientais.

3. OBJETIVOS

Objetivo geral: O principal objetivo deste projeto é desenvolver um sistema autônomo de monitoramento ambiental e implementá-lo nas imediações do Km 83 da Floresta Nacional do Tapajós (Flona do Tapajós), recorrendo às técnicas baseadas nas Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Considera-se este objetivo como parcialmente concluído, em função de o sistema ter sido desenvolvido e os testes de funcionamento terem sido realizados com êxito, porém, até o momento, o sistema não foi instalado, em decorrência de imprevistos em relação à compra de componentes eletrônicos e outras questões burocráticas.

Objetivos específicos: Monitorar remotamente variáveis como Temperatura do ar, Umidade Relativa, Pressão Atmosférica e Luminosidade a partir de Redes de Sensores Sem Fio de baixo custo. Em virtude do êxito no projeto e desenvolvimento do sistema de aquisição de dados, considera-se este objetivo concluído.

4. METODOLOGIA

O modelo físico de sistemas embarcados sem fio é a mais simples plataforma aplicável a locais remotos e de difícil acesso, por integrar aquisição, processamento e transmissão de dados em um único dispositivo (Hill, 2003, Ickes *et al.*, 2013). Com a integração de um ou mais nós sensores ao nó coordenador via rede *ZigBee*, é possível monitorar uma área extensa sem o uso de cabos e complicadas instalações. O nó sensor – dispositivo responsável por medir as variáveis ambientais, processar em forma de dados digitais e transmiti-los para outro nó-sensor ou para o coordenador - consiste basicamente em quatro componentes principais: sensor (es), um microcontrolador, dispositivo de comunicação e uma bateria (Figura 1).

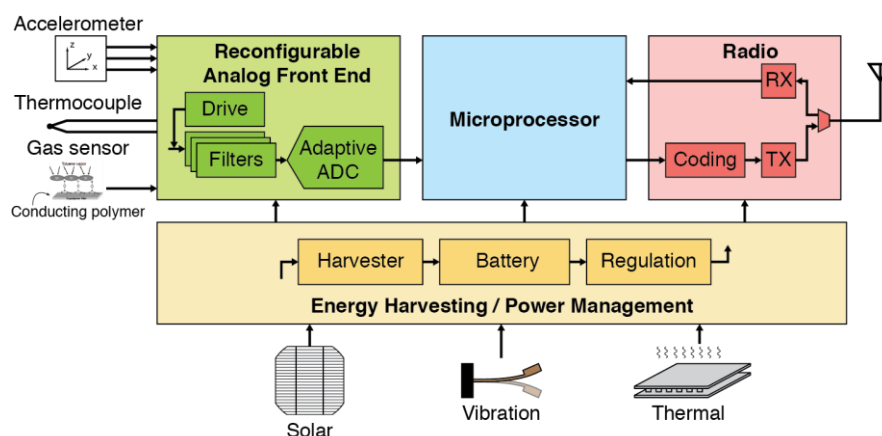


Figura 1: Arquitetura de nós sensores proposta por Ickes et al, 2013

Atualmente, a maioria das plataformas de aquisição de dados ambientais via RSSF disponíveis no mercado é estruturada com base em placas acopláveis, chamadas *shields*. Essas placas são desenvolvidas com o propósito de interagir umas com as outras, adicionando novas funções a um aparelho básico, sendo geralmente vendidas sob forma de itens separados. Isso proporciona uma expansão nas possibilidades nos sistemas embarcados baseados nas plataformas pré-programáveis, como a conhecida Arduino e seus derivados. Porém, no desenvolvimento de plataformas com funções específicas, a utilização de *shields* acaba tornando o projeto mais caro, devido à quantidade de módulos que devem ser acoplados para se conseguir uma determinada função.

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)

A tecnologia das Redes de Sensores Sem Fio tem como principal objetivo a aquisição de informações do ambiente em que se encontram os sensores. Essas informações são processadas e transmitidas por radiofrequência, sendo posteriormente disponibilizadas numa plataforma computacional, como um banco de dados na nuvem (*cloud computing*) ou uma página na web.

Os nós sensores (Figura 2) são compostos por microsensores, um ou mais módulos de processamento (microcontroladores), um módulo de comunicação e um sistema de alimentação, que é geralmente uma bateria pequena, podendo também possuir um sistema de auto-recarga. Os nós da rede, também chamados de motes, comunicam-se entre si – muitas vezes em múltiplos saltos -, de modo que os dados medidos alcancem o nó coordenador que irá armazená-los e transmiti-los a um servidor, onde serão armazenados e disponibilizados para consulta.

As RSSF possuem diversas aplicações, sendo a mais usual a utilização destas para monitoramento de diversos parâmetros físicos do ambiente, tais como: Temperatura do ar, Umidade Relativa, Pressão Atmosférica, Direção e Velocidade do vento, Luminosidade, Campos Geomagnéticos, Radiação, Composições Químicas, entre outros.

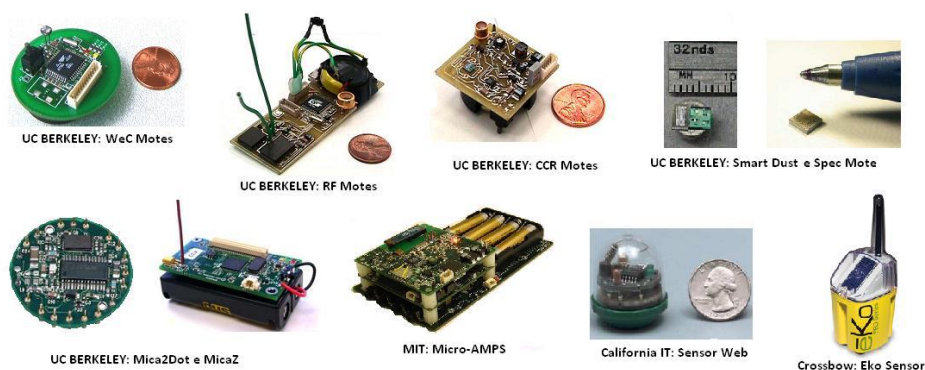


Figura 2: Diversos tipos de nós sensores.

Em uma rede ZigBee, quanto menor for o alcance de um nó sensor, e menos vezes ele tiver de repassar dados de outros nós, menos energia a rede, como um todo, irá desperdiçar (Holanda *et al*, 2011). Por conta disso, as RSSF podem ter topologias do tipo homogênea, onde todos os nós possuem os mesmos atributos, ou heterogênea, na qual nós podem ter atividades diferentes (Figura 3). Um exemplo de rede heterogênea seria com muitos dispositivos de baixo consumo, monitorando as mudanças do ambiente, e alguns dispositivos, abundantes em energia, que coletam, pré-processam e enviam os dados para um computador.

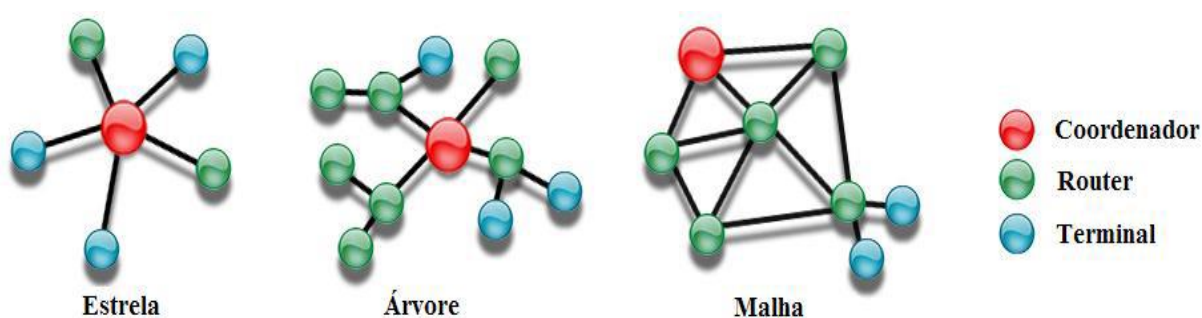


Figura 3: Topologias de RSSF, com evidência aos nós coordenadores, aos nós sensores que apenas enviam dados (Terminais) e aos que também retransmitem dados de outros nós sensores (Routers).

Nó sensor desenvolvido

O protótipo de nó sensor (Figura 4) foi desenvolvido para exercer as principais funções dos produtos disponíveis no mercado, sem necessidade de acoplamento de *shields*, e com a possibilidade de ter sua frequência de transmissão/armazenamento de dados reprogramada para otimizar o consumo de energia quando utilizado para projetos de longa duração ou onde haja déficit de incidência solar. Ele tem capacidade para até 12 sensores digitais e/ou analógicos, porém, em função do ambiente de estudo e dos objetivos deste trabalho, foram utilizados apenas três sensores: o HYT-271 (Figura 5A), produzido pela Innovative Sensor Technology, capaz de obter dados de temperatura e umidade relativa com acurácia de ± 0.2 K e ± 1.8 % RH, respectivamente; o MPL3115A2 (Figura 5B), da Freescale Semiconductor, Inc, capaz de obter dados de pressão atmosférica com acurácia de 0,05 KPa, e um sensor analógico do tipo Light Dependent Resistor, para efetuar medidas de luminosidade (Figura 5C). O microcontrolador utilizado foi o Atmega328P (Figura 6), que possui um microprocessador RISC de 8 bits, 28 pinos, memória flash de 32k, 23 portas I/O, sendo 6 ADC, voltagem de operação entre 1.8V a 5V e uma linguagem padrão de programação, originada em *Wiring* que é essencialmente, C/C++. O software embarcado foi desenvolvido a partir de bibliotecas da plataforma Arduino.

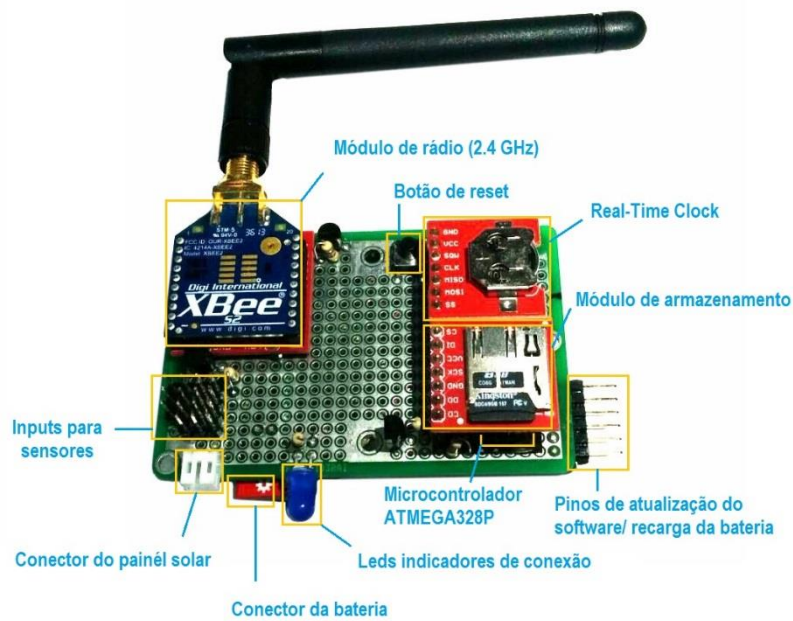


Figura 4: Nó sensor de baixo custo desenvolvido

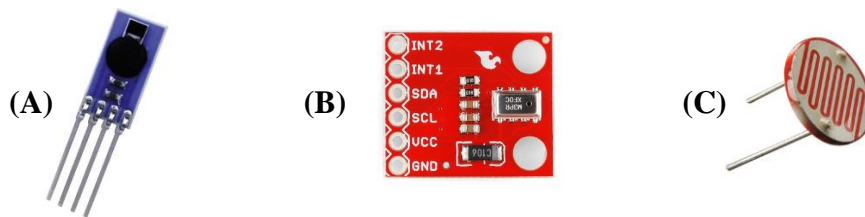


Figura 5: Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar HYT-271 (A), Sensor de Pressão Atmosférica MPL3115A2 (B) e Sensor de luminosidade do tipo Light Dependent Resistor – LDR (C).

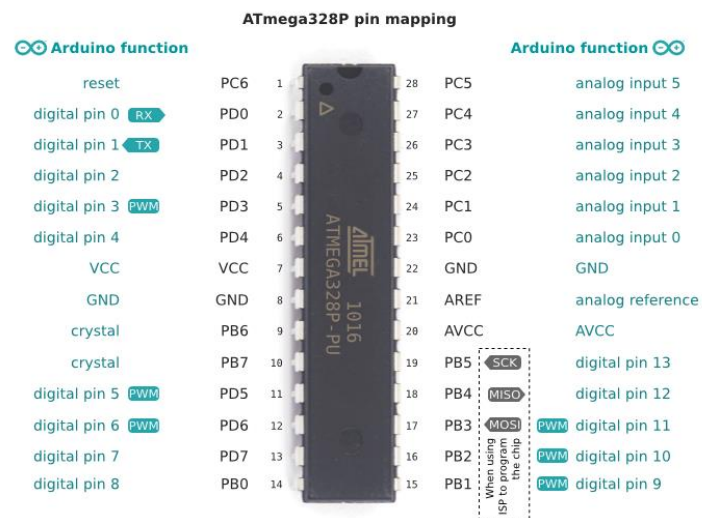


Figura 6: Microcontrolador Atmel ATMEGA328P

Foi utilizado um módulo de comunicação XBee XB24-Z7SIT-004 Series 2, fabricado pela empresa DIGI. Esse modelo opera na frequência de 2.4 GHz, e possibilita uma comunicação por redes em malha complexas com base no protocolo ZigBee e configurada baseada em técnicas de inteligência artificial. A comunicação com o microcontrolador se dá através de uma interface UART por onde dados podem ser transmitidos, recebidos e retransmitidos (Maxstream, 2006) (Figuras 6 e 7).

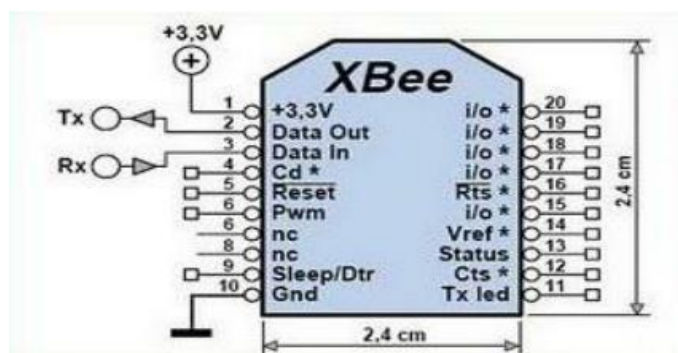


Figura 6 Interface de comunicação UART do módulo XBee Series 2, na qual os pinos Tx e Rx representam as portas de transmissão e recepção de dados, respectivamente.

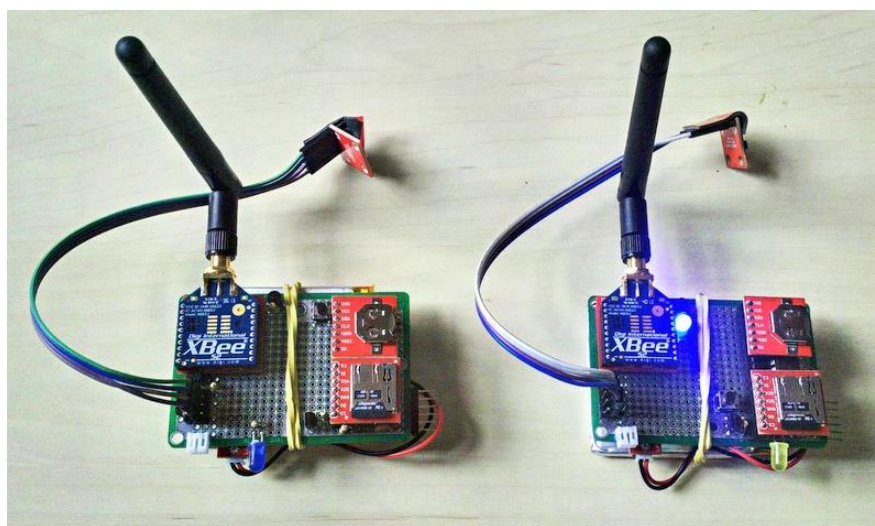


Figura 7 Nó sensor desenvolvido retransmitindo dados de outro nó sensor, teoricamente mais distante.

Redes de Sensores Sem Fio demandam baterias capazes de sustentar os nós sensores durante o período necessário para a execução do projeto, sem que haja a necessidade de substituição das baterias. Além disso, deve ser levado em consideração o volume, condições de temperatura e capacidade do modelo escolhido (Couto Braga, 2010). Geralmente, as mais utilizadas são: linear

simples, lítio NR e lítio *Coin Cell*. Visando a melhor opção para a utilização do sistema fotovoltaico, a bateria escolhida é do tipo Lítio-polímero, como as também utilizadas em smartphones, e outros aparelhos portáteis. Elas são recarregáveis e tem o dobro da capacidade das baterias de níquel. Além de não possuírem o efeito memória (não viciam) elas são muito compactas. Para a alimentação dos nós sensores, foi utilizado um modelo de 3,7 V e 2000 mAh, com carregamento via painel solar de 0,5 W (5V / 0,1 A).

Atendendo à necessidade de colocar os nós sensores em um ambiente exterior, optou-se por colocá-los em caixas herméticas, de modo a proteger os circuitos do nó sensor das condições atmosféricas variáveis (Figura 8).

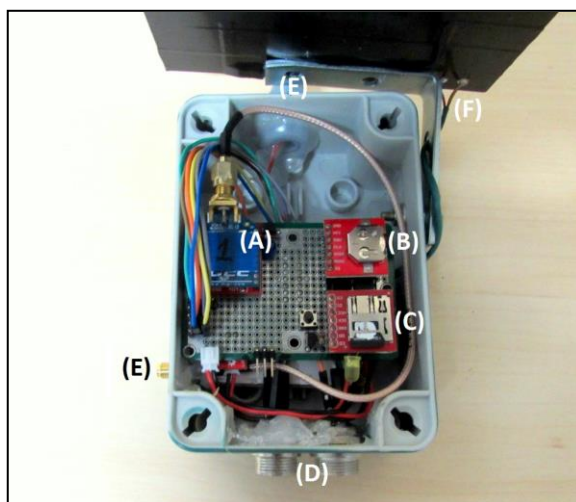


Figura 8: Nó sensor alocado em caixa hermética, onde é possível ver em detalhes o módulo XBee (A), o relógio de tempo real (B), módulo de armazenamento (C), conectores para sensores (D), sensor de luminosidade (E), conector para antena externa (E) e painel solar com inclinação ajustável (F)

Seguindo os padrões comerciais, os sensores – com exceção ao sensor de luminosidade – foram colocados em pequenos tubos acopláveis (Figura 9), visando a facilidade em poder substituir um dos sensores em caso de falha ou interesse em medir novas variáveis. Dessa forma, os sensores passam a ser não-fixos e o sistema pode ser adaptado ao interesse do pesquisador.



Figura 9: Sensores.

Optou-se por manter o sensor de luminosidade fixo por conta da importância dessa variável em relação ao estudo da eficiência energética do nó sensor. Assim, o sensor foi posicionado no topo da caixa hermética, em um conector do tipo prensa-cabos e preenchido com silicone para evitar possíveis infiltrações (Figura 10).



Figura 10: Sensor de luminosidade.

Na Figura 11 pode visualizar-se o protótipo montado com sensores e antena e os **sete** nós sensores construídos, respectivamente.



Figura 11: Nós sensores.

Os dados técnicos do protótipo se encontram na tabela a seguir:

Sensores	
Número de portas	Cada nó sensor suporta até 12 sensores
Frequência de aquisição	Uma medição por segundo
Rádio	
Frequência do radio	ISM 2.4 GHz
Canais	16 canais disponíveis
Modulação	IEEE 802.15.4
Alcance teórico	180m
Antena	2.2dBi, RP-SMA
Alimentação	
Painel solar	5V, 0.1 A
Baterias	3.7V 2000MAh
Armazenamento	
Capacidade do MicroSD	8 GB

Nó coordenador

O nó coordenador foi projetado utilizando basicamente um microcomputador Raspberry Pi (Figura 12) conectado à internet móvel e um módulo XBee configurado como receptor. O Raspberry Pi é um microcomputador em placa única desenvolvido no Reino Unido pela Raspberry Pi Foundation. O Raspberry Pi tem um custo de US\$30, e é baseado em um *system on a chip* (SoC) Broadcom BCM2835, que inclui um processador ARM1176JZF-S de 700 MHz, GPU VideoCore IV, e 512 MB de memória RAM. O Raspberry Pi não possui um disco rígido, mas conta com uma entrada de cartão SD para armazenamento de dados e acesso ao SO.



Figura 12: Raspberry Pi.

A caixa hermética do nó coordenador foi projetada utilizando o software livre *OpenSCAD* e impresso em uma impressora 3D Cloner DH em Ácido Polilático (PLA) (Figura 13). Esse material tem a característica de ser biodegradável e tem capacidade de resistir a temperaturas de até 130 graus (Jahno, 2005).

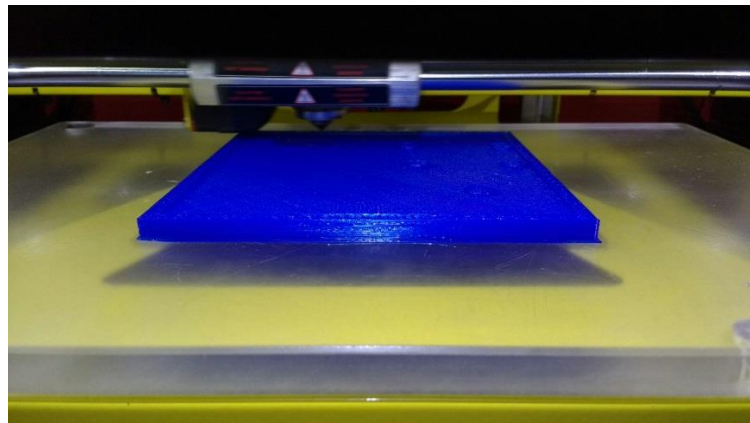


Figura 13: Impressão da caixa hermética do nó coordenador.

Com um módulo XBee conectado em modo receptor, o nó coordenador recebe os dados de até 50 nós sensores, e faz o upload dos dados para um banco de dados na *web*. Os dados são armazenados em arquivos .txt ou .dat. O upload para a nuvem é feito em intervalos de 1 hora.

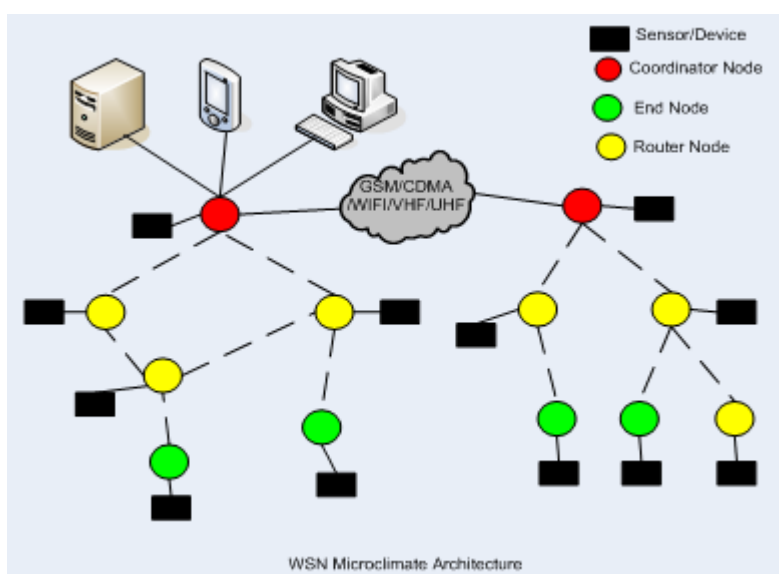


Figura 14: Diagrama estrutural representando interface de upload de dados das RSSF.

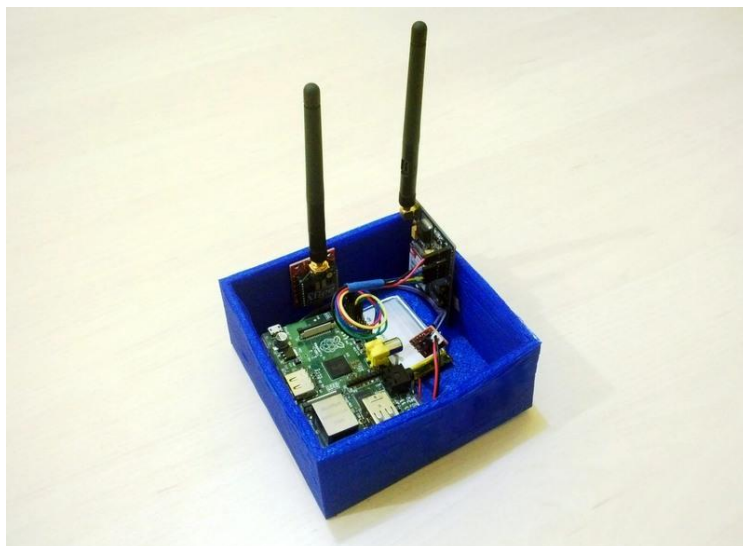


Figura 15: Nó coordenador (visão interna).

O nó coordenador também conta com um sistema de alimentação via painel solar (0,5 w) e bateria de Lítio-polímero (5V 2000MAh) e um módulo GSM/GPRS SIM pelo qual faz o upload dos dados recebidos via internet móvel.

Os dados técnicos do nó coordenador se encontram na tabela a seguir:

Rádio	
Frequência do radio	ISM 2.4 GHz
Canais	16 canais disponíveis
Modulação	IEEE 802.15.4
Módulo GSM/GPRS	
Frequência	Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
Alimentação	
Painel solar	5V, 0,1 A
Baterias	3.7V 2000MAh
Armazenamento	
Capacidade do MicroSD	64 GB

5. RESULTADOS OBTIDOS

Para avaliar a eficiência do sistema de aquisição de dados ambientais, foram realizados testes de alcance, comparação e autonomia. O Objetivo dos testes foi determinar a distância de alcance máximo da transmissão de dados, a resposta dos sensores às variações no ambiente em comparação à instrumentação comercial e avaliar se o sistema teria capacidade para se manter funcionando de forma contínua e autônoma.

Testes de comparação

Os testes foram realizados em uma torre instrumentada no Campus Tapajós da Universidade Federal do Oeste do Pará. O nó sensor foi colocado a uma altura de 5 m na torre juntamente com uma estação Metpak II (Gill Instruments), utilizada como referência para as variáveis Temperatura, Umidade Relativa e Pressão Atmosférica (PTU). Para a variável luminosidade foi utilizado um Multímetro digital multifuncional (MDV 5100) da marca VONDER. As medidas foram realizadas durante um período de 12 horas para as variáveis PTU, e de apenas 1 hora para a variável luminosidade, levando em consideração a variação da luminosidade induzida por uma lâmpada. (Figura 16).

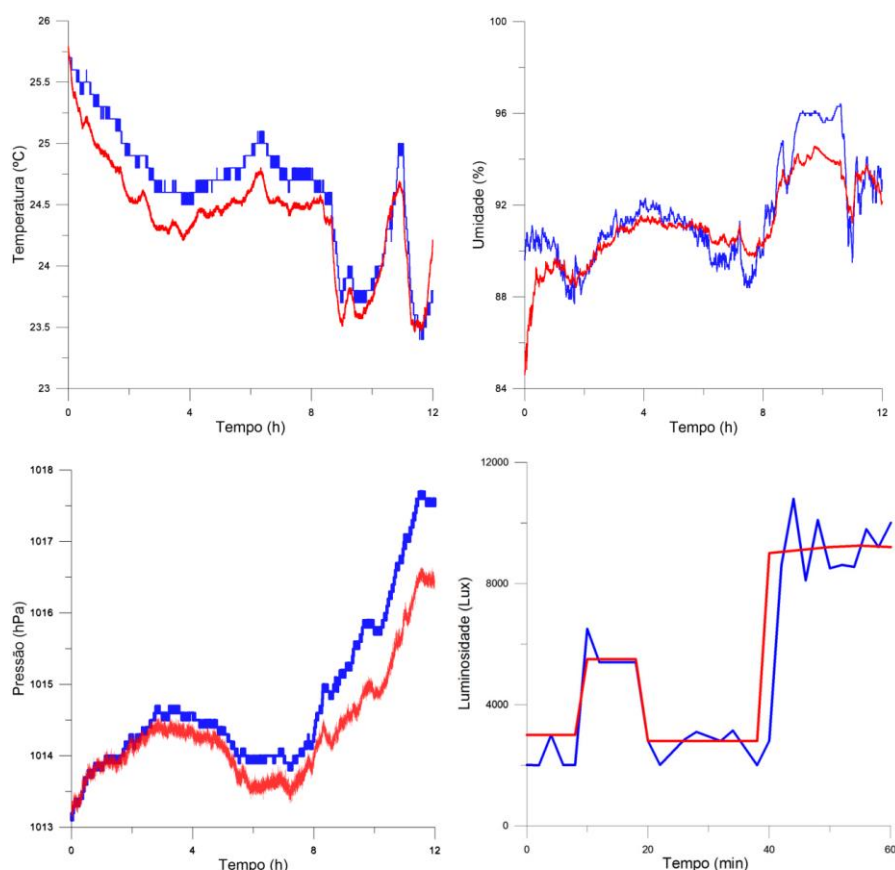


Figura 16: Gráficos dos testes de comparação entre o nó sensor e a Metpak II para as variáveis Temperatura, Umidade Relativa e Pressão Atmosférica e o MDV 5100 para a variável luminosidade. O nó sensor é representado pela linha vermelha, e os instrumentos comerciais pela linha azul.

A correlação entre as variáveis do nó sensor e a estação Metpak II foram de 87% para umidade relativa do ar, 98% pressão atmosférica e 97% para temperatura do ar. Nota-se que o LDR acompanhou a amplitude média das variações do Luxímetro, porém com um tempo de resposta muito inferior. Esse fator pode interferir na qualidade dos dados em um período curto, mas com grandes séries de dados o erro tende a suavizar.

Testes de alcance/ funcionamento da rede

Para mensurar o alcance máximo da conexão estável entre os nós sensores e o nó coordenador, foram realizados testes de comunicação em um ambiente com desníveis topográficos moderados e estruturas que pudessem interferir na intensidade do sinal. Os testes foram realizados na Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Tapajós. Os testes respeitaram três condições: ambiente com cobertura vegetal moderada, ambiente com cobertura vegetal densa e em visada direta, sem obstáculos. Utilizando como base a rede ZigBee na Topologia em Árvore conseguiu-se um alcance máximo – sem perda de dados – de 103.28 m entre o nó receptor e o nó transmissor, em um ambiente com cobertura vegetal média. Já em um ambiente com cobertura vegetal densa e desníveis, conseguiu-se um alcance máximo de 63.8 m. Já em configuração de visada direta, sem obstáculos, foi possível alcançar 123.67 m. Com base nisso, foi possível traçar um mapa com uma possível configuração para a Rede de Sensores, onde os nós sensores mais distantes deverão estar em visada direta com o coordenador ou o router (Figura 17).



Figura 17: Mapa de configuração da RSSF

Teste de autonomia das baterias

Para testar a eficiência energética dos nós sensores, foram realizados testes de carga e descarga das baterias com os nós sensores em funcionamento e conectados ao painel solar. Os testes visaram o desempenho do sistema adquirindo dados na frequência de 1 Hz e enviando esses mesmos dados para o coordenador/ banco de dados na *web* em tempo real. O propósito desse teste foi fazer o protótipo de nó sensor trabalhar com o seu máximo consumo para estimar qual seria o comportamento do mesmo quando estivesse em atividade contínua de monitoramento. Como resultado dos testes, o nó sensor trabalhou durante 5 dias ininterruptos captando dados. O protótipo funcionou conforme o esperado durante todo o período do teste, com exceção ao segundo e quarto dia, quando a carga da bateria ficou um pouco abaixo do nível dos demais dias (Figura 19).



Figura 18: Nó sensor em funcionamento contínuo para avaliar a sua eficiência energética.

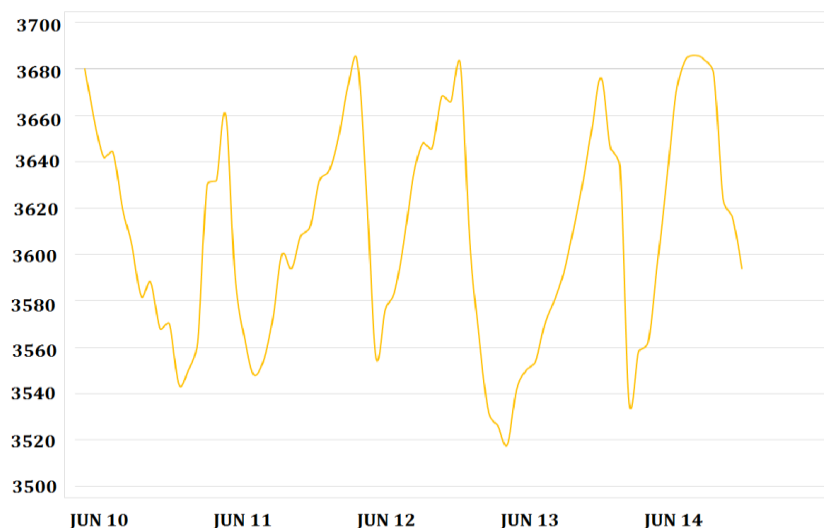


Figura 19: Resultados do teste de autonomia. O eixo y corresponde à tensão na bateria, em mV, e o eixo x corresponde ao tempo, em dias.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS.

- O aluno publicou um artigo na revista Ciência & Natura (Qualis B2) – Anexo I.

6. PRINCIPAIS PROBLEMAS E DIFICULDADES PARA A REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

- Dificuldade em encontrar componentes eletrônicos;
- Carência de referências sobre XBee;
- Burocracia em relação ao acesso à Flona do Tapajós;
- Complexidade dos conceitos de RSSF.

7. REFERÊNCIAS

Salvioni, M. S; Fruett, F. Monitoramento Ambiental através de Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, 2013.

Couto Braga, T. Monitorização Ambiental em Espaços Florestais com Rede de Sensores Sem Fios. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações). Centro de Competência de Ciências Exactas e da Engenharia – Universidade da Madeira, 2010.

Dulman, S.; Bram, D.; Havinga, P. Range-Based Localization in Mobile Sensor Networks. Wireless Sensor Networks. p. 164-179. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

Hill, J. L. System architecture for Wireless Sensor Networks. Tese (Doutorado). University of California, 2003.

Ickes, N.; Iannucci, P.; Jacobs, S.; Paidimarri, A.; Wang, X.; Yaul, F.; Balakrishnan, H.; Gleason, K. K.; Chandrakasan, A. P. Self-powered Long-range Wireless Microsensors for Industrial Applications. MTL Annual Research Report/ Massachusetts Institute of Technology, 2013.

Holanda, C.; Xavier, G.; Sales, M.. Redes de Sensores Sem Fio. UFRJ, 2011.

Maxstream. XBee/Xbee Pro OEM RF Modules Product Manual, Maxstream, 2006. Rehen, S.; Rebelo, M.; Cadilhe, D.. Dificuldades na importação de insumos para pesquisa no Brasil – 165 cientistas de 35 instituições científicas e 13 estados brasileiros. ABC, 2015

ANEXO I – Artigo publicado

Artigo original

DOI: <http://dx.doi.org/105902/2179460X>

Ciência e Natura, Santa Maria, v. 36 n. 2 jun. 2014, p. XX-XX
 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM
 ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-460X



Desenvolvimento de uma Sonda Atmosférica Sem Fio para estudos ambientais de baixo custo

Development of a Wireless Atmospheric Probe for environmental cheap studies

Giorgio Arlan da Silva Picanço¹, Julio Tota da Silva², Raoni Aquino Silva³ de Santana e Roseilson Souza do Vale³

¹Graduando, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

²Doutor, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

³Mestre, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Brasil

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma sonda atmosférica wireless, projetada para auxiliar estudos ambientais de longa duração com poucos recursos financeiros. O trabalho é baseado no conceito de Redes de Sensores Sem Fio, no qual vários sensores dispõem-se espacialmente dispersos em uma determinada região. Facilitando o monitoramento de vastas áreas sem a necessidade de grandes estruturas físicas de comunicação e energia, como cabos e torres. O protótipo, construído com material de baixo custo, capta dados de temperatura, pressão e umidade relativa do ar, transmitindo essas informações em tempo real a um receptor remoto via radiofrequência, a uma distância de até 1 km. O protótipo ainda é equipado com um sistema fotovoltaico, capaz de lhe garantir autonomia energética, fator imprescindível para estudos de longa duração. Para avaliar a eficiência do protótipo, foram realizados testes de correlação com uma estação METPAK II (Gill Instruments), visando simular o funcionamento contínuo dos sensores in situ. Os testes apresentam correlações significativas entre as variáveis de pressão atmosférica (98%), umidade relativa (87%) e temperatura do ar (97%). Os testes realizados garantem um bom grau de confiabilidade ao protótipo, podendo servir como alternativa para projetos de monitoramento ambiental e de Redes de Sensores Sem Fio.

Palavras-chave: monitoramento ambiental, sistemas de tempo real, plataforma sensorial, sistemas embarcados.

Abstract

This paper presents the development of a wireless atmospheric probe, designed to assist long-term environmental studies with limited financial resources. The work is based on the concept of Wireless Sensor Networks in which multiple sensors are arranged spatially in a particular region. Facilitating the monitoring of large areas without the need for large physical structures of communication and power, as cables and towers. The prototype, built with cheap material, captures temperature data, pressure and humidity, transmitting this information in real time to a remote receiver via radio frequency to a distance of 1 km. The prototype is also equipped with a photovoltaic system capable of guaranteeing energy independence, an essential factor for long-term studies. To evaluate the efficiency of the prototype, correlation tests were performed with a Metpak station II (Gill Instruments), to simulate the continuous operation of the sensors in situ. The tests show significant correlations between atmospheric pressure variables (98%), relative humidity (87%) and air temperature (97%). The tests ensure a good degree of reliability to the prototype; can serve as an alternative to environmental monitoring projects and Wireless Sensor Networks.

Keywords: environmental monitoring, real-time systems, sensory platform, embedded systems.

Recebido: dia/mês/ano Aceito: dia/mês/ano

ANEXO II – Algoritmo utilizado nos nós sensores

```
#include <DS3234.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <SparkFunMPL3115A2.h>
#include <SparkFunTSL2561.h>

MPL3115A2 myPressure;
SFE_TSL2561 light;
SoftwareSerial mySerial = SoftwareSerial(5,4); //Configuração do XBEE

boolean gain;    // Ganho, 0 = X1, 1 = X16;
unsigned int ms; // tempo em millisegundos
const int chipSelect = 10;
int ativar_microsd = 9;
int ativar_cooler = 2;
int ledPin = 3;

void setup()
{
    // Abre a porta serial:
    pinMode(ativar_microsd, OUTPUT);
    pinMode(ativar_cooler, OUTPUT);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);

    Serial.begin(38400);
    mySerial.begin(38400);
    #define HYT_ADDR 0x28 // I2C address do sensor HYT 221
    Wire.begin();        // i2c bus

    RTC.configure(6,7,8,5);
    //RTC.setDateTime(17, 3, 2016, 17, 51, 0);
    while (!Serial) {
        ; // espera conectar a serial
    }

    light.begin();
    unsigned char ID;

    gain = 0;

    unsigned char time = 2;

    light.setTiming(gain,time,ms);
    light.setPowerUp();
```

```

Serial.print("Initializing SD card...");
digitalWrite( ativar_microsd, HIGH);
// testa o cartao sd
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");

  return;
}
Serial.println("card initialized.");
digitalWrite(ativar_microsd, LOW);

myPressure.begin(); // inicia o sensor de pressao

// Configure the sensor
//myPressure.setModeAltimeter(); // pressao
myPressure.setModeBarometer(); // pressao no intervalo

myPressure.setOversampleRate(7); // Set Oversample to the recommended 128
myPressure.enableEventFlags(); // Enable all three pressure and temp event flags

}

void loop()
{
  //digitalWrite(ativar_cooler, HIGH);
  delay(ms);
  // open the file. note that only one file can be open at a time,
  // so you have to close this one before opening another.

  double humidity;
  double temperaturehyt;

  Wire.beginTransmission(HYT_ADDR); // Begin transmission with given device on I2C
bus
  Wire.requestFrom(HYT_ADDR, 4); // Request 4 bytes

  // Read the bytes if they are available
  // The first two bytes are humidity the last two are temperature
  if(Wire.available() == 4) {
    int b1 = Wire.read();
    int b2 = Wire.read();
    int b3 = Wire.read();
    int b4 = Wire.read();

    Wire.endTransmission(); // End transmission and release I2C bus

    // combine humidity bytes and calculate humidity
    int rawHumidity = b1 << 8 | b2;
    // compound bitwise to get 14 bit measurement first two bits
    // are status/stall bit (see intro text)

```

```

rawHumidity = (rawHumidity &= 0x3FFF);
humidity = 100.0 / pow(2,14) * rawHumidity;

// combine temperature bytes and calculate temperature
b4 = (b4 >> 2); // Mask away 2 least significant bits see HYT 221 doc
int rawTemperature = b3 << 6 | b4;
temperaturehyt = 165.0 / pow(2,14) * rawTemperature - 40;

float temperature = myPressure.readTemp();
float pressure = myPressure.readPressure();

//digitalWrite(ativar_cooler, HIGH);
digitalWrite(ativar_microsd, HIGH);

File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
digitalWrite(ativar_cooler, HIGH);
delay(15000);

// if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
  dataFile.print(RTC.readDateTime());
  dataFile.print(" ");
  dataFile.print(temperaturehyt, 2);
  dataFile.print(" ");
  dataFile.print(temperature, 2);
  dataFile.print(" ");
  dataFile.print(humidity);
  dataFile.print(" ");
  dataFile.print(pressure/100, 2);
  unsigned int data0, data1;

  if (light.getData(data0,data1))
  {

    double lux; // Resulting lux value
    boolean good; // True if neither sensor is saturated

    // Perform lux calculation:

    good = light.getLux(gain,ms,data0,data1,lux);

    // Print out the results:

    dataFile.print(" ");
    dataFile.print(lux);
    if (good) dataFile.print(""); else dataFile.print("");
  }
  else
  {

```



```

// getData() returned false because of an I2C error, inform the user.

dataFile.print("NaN");
}
dataFile.print(" ");
dataFile.println(readVcc());
dataFile.close();
// print to the serial port too:
digitalWrite(ledPin, HIGH);
Serial.print("Node_02 ");
Serial.print(RTC.readDateTime());
Serial.print(" ");
Serial.print(temperatureht, 2);
Serial.print(" ");
Serial.print(temperature, 2);
Serial.print(" ");
Serial.print(humidity);
Serial.print(" ");
Serial.print(pressure/100, 2);

if (light.getData(data0,data1))
{

    double lux; // Resulting lux value
    boolean good; // True if neither sensor is saturated

    // Perform lux calculation:

    good = light.getLux(gain,ms,data0,data1,lux);

    // Print out the results:

    Serial.print(" ");
    Serial.print(lux);
    if (good) Serial.print(""); else Serial.print("");
}
else
{
    // getData() returned false because of an I2C error, inform the user.

    Serial.print(" NaN");
}
Serial.print(" ");
Serial.println(readVcc()*100/4230);
}
// if the file isn't open, pop up an error:
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}
digitalWrite(ativar_microsd, LOW);
//digitalWrite(ativar_cooler, LOW);

```

```

digitalWrite(ledPin, LOW);
digitalWrite(ativar_cooler, LOW);
delay(45000);

}}

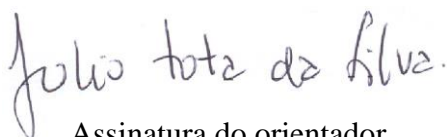
long readVcc()
{
// Ler referência interna 1.1V
// Ajusta a referência ao Vcc e a medição de referência interna para 1.1V
#if defined(__AVR_ATmega32U4__) || defined(__AVR_ATmega1280__) ||
defined(__AVR_ATmega2560__)
ADMUX = _BV(REFS0) | _BV(MUX4) | _BV(MUX3) | _BV(MUX2) | _BV(MUX1);
#elif defined (__AVR_ATtiny24__) || defined(__AVR_ATtiny44__) ||
defined(__AVR_ATtiny84__)
ADMUX = _BV(MUX5) | _BV(MUX0);
#elif defined (__AVR_ATtiny25__) || defined(__AVR_ATtiny45__) ||
defined(__AVR_ATtiny85__)
ADMUX = _BV(MUX3) | _BV(MUX2);
#else
ADMUX = _BV(REFS0) | _BV(MUX3) | _BV(MUX2) | _BV(MUX1);
#endif
delay(2); // Aguarde
ADCSRA |= _BV(ADSC); // Inicia a conversão
while (bit_is_set(ADCSRA,ADSC)); // Medindo
uint8_t low = ADCL; // Vai ler ADCL primeiro - Então trava ADCH
uint8_t high = ADCH; // Desbloqueia
long result = (high<<8) | low;
result = 1125300L / result; // Calcular Vcc em milivolts; 1125300 = 1.1*1023*1000
return result; // Vcc em milivolts
}

```

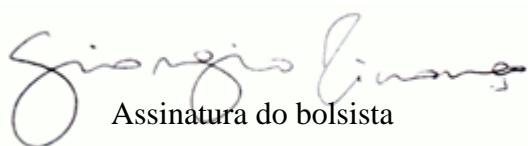
9. PARECER DO ORIENTADOR

O aluno foi capaz estudar e compreender os conceitos e protocolos eletrônicos abordados na aplicação proposta. O mesmo apresentou desempenho, capacidade de aprendizado, relação de trabalho em grupo, satisfatórios durante o período de bolsa. A iniciativa e desempenho muito bom no sentido de pesquisa científica e resolução de problemas propostos.

Santarém, 15/08/2016



Assinatura do orientador



Assinatura do bolsista