

# Projeto e Implementação de um Sistema de Monitoramento de uma Estufa Agrícola de Larga Escala Utilizando Rede de Sensores Sem Fio

Hugo Vaz Sampaio, Shusaburo Motoyama

Faculdade Campo Limpo Paulista (FACCAMP)

Programa de Mestrado em Ciências da Computação

{hvazsampaio@gmail.com, shumotoyama@gmail.com

**Resumo.** É proposto, neste artigo, um sistema de monitoramento de uma estufa agrícola de larga escala utilizando rede de sensores sem fio (RSSF). Para o monitoramento de uma estufa, os principais parâmetros de controle são temperatura e umidade do ar, umidade da terra, luminosidade, etc. Para a coleta de dados desses parâmetros, é proposta, neste trabalho, uma rede de sensores sem fio em uma forma hierárquica. Nessa configuração, os sensores, agregados com todas as funcionalidades de coleta, processamento e transmissão de dados sem fio, constituindo nós sensores, ficam no nível mais baixo. Nos níveis intermediários, utilizados para transportar os dados dos sensores para longas distâncias, ficam os nós denominados roteadores, e por fim no nível mais alto fica o nó coordenador, utilizado para enviar os dados a uma estação base, onde esses dados são processados. Os detalhes do projeto, assim como uma implementação simplificada desse sistema de monitoramento são apresentados. Os testes preliminares feitos em experimentos em laboratório mostram que o sistema está funcionando adequadamente.

**Abstract.** A large scale greenhouse monitoring system using wireless sensor network (WSN) is proposed in this paper. The main parameters required to monitor and control a greenhouse are air humidity and temperature, ground moisture and environment lightness. For the data gathering of these parameters a hierarchical WSN is proposed in this work. In this configuration the sensors, aggregated with all gathering functionalities, processing and wireless data transmission capabilities, denoted as sensor nodes, are on the lowest level. In the middle level, router nodes are used to transport data from sensor nodes to the coordinator node. In the highest level, the coordinator node is provided to send all received data to a central base, where data is stored and processed. The details of the project and a simple implementation of this monitoring system are presented. The preliminary tests carried out in laboratory experiments are showing that the system is operating properly.

## 1. Introdução

O avanço tecnológico de rede de sensores sem fio (RSSF) está proporcionando inovações em várias áreas de aplicação, tais como, médica, agrícola, controle de tráfego, controle ambiental entre outras. Na área de agricultura a RSSF pode ser usada para

obter as informações necessárias que uma planta necessita para crescer, como temperatura e umidade do ar, umidade da terra, luminosidade, entre outros. As variações dessas informações são relativamente lentas, assim, os sensores sem fio, alimentados por bateria, podem coletar e enviar essas informações esporadicamente, de tal modo que um sistema de monitoramento agrícola poderia mostrar esses dados a uma equipe de plantão ou automaticamente tomar providências como, por ex., regar, ligar sistema de ventilação, deixar o ambiente mais escuro, etc.

Um dos tipos de agricultura que está sendo cada vez mais utilizado devido a sua eficiência produtiva é a agricultura em estufas. As plantações em estufas buscam minimizar a variação do clima e seus efeitos adversos causados pelas altas ou baixas temperaturas do ar. Desta forma, é possível controlar a qualidade da colheita e minimizar o tempo de crescimento da planta. Com a utilização de uma RSSF dentro de uma estufa é possível coletar, com precisão, as informações climáticas, permitindo um controle otimizado da plantação.

Várias propostas e implementações de controle da estufa são apresentadas na literatura Pawlowski et al. (2009). A maioria desses artigos trata do projeto e teste de uma única estufa. Não há, entretanto, muitos artigos que tratam de uma estufa de larga escala, que controlam centenas de sensores. O objetivo deste artigo é propor um projeto de sistema de monitoramento para estufas de larga escala, utilizando RSSF. Além disso, tem como objetivo testar o funcionamento, através de uma implementação prática e o desenvolvimento de software da parte central do sistema proposto.

Este trabalho está organizado em 6 Seções. Na Seção 2 a seguir, são apresentados os principais artigos encontrados na literatura sobre monitoramento de plantações agrícolas com a utilização de RSSF. Os principais princípios que norteiam o projeto de uma estufa agrícola de larga escala e a sua configuração apropriada de RSSF, são discutidos na Seção 3. Na Seção 4, é apresentado o projeto de implementação prática simplificada de uma RSSF apropriada para estufas agrícolas. Na Seção 5, são apresentados os resultados de um experimento com a RSSF projetada. Finalmente, na Seção 6, as principais conclusões e trabalhos futuros são apresentados.

## **2. Trabalhos relacionados**

Segundo Pawlowski et al. (2009) plantações em estufas possuem dois grupos de sistemas independentes com diferentes problemas. No 1º grupo a variação climática como temperatura/umidade do ar, luminosidade, concentração de CO<sub>2</sub>, entre outros, afetam diretamente no crescimento das plantas. Dentro de uma estufa, a variação climática deve ser monitorada e controlada de acordo com a necessidade de cada planta. Os problemas do 2º grupo são variáveis de fertirrigação, ou irrigação com fertilizantes. Informações como temperatura/umidade da terra, composição da terra, entre outros, são utilizadas para decisões como volume e/ou periodicidade da fertirrigação. Foi desenvolvida uma técnica de controle para estufa baseada em eventos por meio de simulações com o aplicativo Matlab. Foram definidos limiares máximos e mínimos para as variáveis temperatura/umidade do ar, onde o valor acima ou abaixo do limiar é considerado um evento.

Um problema em RSSF é a vida útil de um nó sensor alimentado por bateria. Benavente (2010) propõe uma solução para economizar energia e prolongar a vida útil da bateria em nós sensores. Utilizando intervalo de amostragem variável em nós sensores, foi desenvolvida uma RSSF para monitoramento ambiental em um vinhedo. Como exemplo de amostragem variável foram definidos limites máximo e mínimo para o valor da temperatura coletado pelo sensor. O intervalo de coleta de dados será de 15 minutos, se estiver entre 10°C e 30°C. Caso a temperatura situe-se fora do intervalo, a coleta de dados será feita a cada 5 minutos. Foram desenvolvidos nós da rede com antenas Zigbee-PRO e sensores de temperatura e umidade relativa do ar, que capturam e transmitem dados para um dispositivo central.

Em Mohanty e Patil (2013), foram selecionados três parâmetros (luminosidade, temperatura e umidade do ar) que devem ser monitorados em uma estufa para garantir uma colheita mais produtiva. O artigo apresenta uma RSSF, utilizando antenas MICAZ no padrão IEEE 802.15.4, e sensores para medir os parâmetros acima. Também são avaliadas a confiança e a habilidade da rede para detectar o microclima em uma estufa. Foi conduzido um experimento com duração total de quatro horas e coletas de dados realizadas com intervalo de 30 minutos. Os resultados indicam que os dados foram capturados e transmitidos sem erros, mostrando a robustez desta RSSF.

No artigo de Ahonen et al. (2008), foi desenvolvida uma RSSF com antenas Sensinodes para verificar a variação de microclima em diferentes alturas em uma estufa. Essas antenas utilizam protocolo 6LoWPAN, que habilita a transmissão de pacotes IPv6 comprimidos através de redes IEEE 802.15.4. Foram dispostos em diferentes alturas, dentro da estufa, quatro nós com sensores de luminosidade, temperatura e umidade do ar. Os dados foram capturados com intervalo de quatro minutos durante três horas. Os resultados indicam que a RSSF capturou com sucesso informações de variação de temperatura e umidade em diferentes alturas da estufa.

### **3. Projeto de uma RSSF para estufa agrícola de larga escala**

As estufas agrícolas são utilizadas em plantações para fornecer proteção física de variações climáticas como o vento, chuva, granizo, neve, e amenizar variações bruscas de temperaturas e umidades. O excesso de calor e/ou CO<sub>2</sub> pode ser prejudicial para a planta sendo os controles de temperatura e umidade do ar muito importantes. São importantes, também, controles de luminosidade e irrigação.

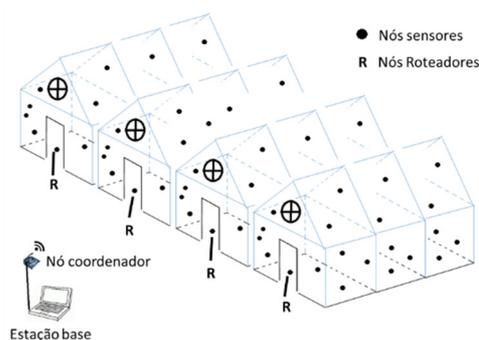
Além das medições das alterações climáticas, para o controle de uma estufa agrícola são necessários, também, dispositivos que alterem as condições ambientais como ventilador, ar condicionado, aquecedores, entre outros. Esses dispositivos serão chamados de atuadores, neste artigo, e podem ser acionados automaticamente para uma maior precisão no controle da estufa.

Outro aspecto das estufas é o tamanho, por exemplo, em Ahonen et al., os testes são realizados em uma seção de uma estufa de tamanho 18m x 80m. No cultivo em estufas da empresa Ervas Finas Horticultura (2016), localizada em Campo Limpo Paulista-SP, em uma região montanhosa, há 80 estufas, onde são plantadas ervas aromáticas, flores comestíveis, mini legumes e folhagens especiais. A estrutura de cada

estufa é metálica, com dimensões de 6 metros de largura por 48 metros de comprimento, dividida em 16 seções de três metros de comprimento, totalizando 1280 seções.

Como pode se observar as dimensões das estufas podem ter variações razoáveis. Assim, para o projeto proposto, neste artigo, uma estrutura de larga escala será composta de um conjunto de estufas individuais, ou uma estufa de grandes dimensões será dividida em compartimentos individualizados, como mostrado na Fig. 1. Um nó sensor é definido, neste artigo, como dispositivo de rede formado por sensores, processador, memória, rádio e fonte de energia. Um nó sensor pode coletar diferentes tipos de dados como temperatura do ar, luminosidade, etc. Na Fig. 1 os nós sensores são distribuídos dentro de cada estufa, e coletam os mais variados dados.

A configuração de uma RSSF para uma estufa de larga escala proposta, neste trabalho, será organizada em uma forma hierárquica. Nessa estrutura hierárquica, os nós sensores de cada compartimento ou estufa ficam no nível mais baixo, e enviam dados para um nó intermediário, denominado de roteador (mostrado por símbolo R na Fig. 1), e daí para o nó coordenador que está no nível mais elevado, visto na Fig.1, fora da estufa. Na figura são mostrados somente três níveis de hierarquia, mas, dependendo da necessidade, para distâncias mais longas, o nível intermediário poderá ter mais estágios.

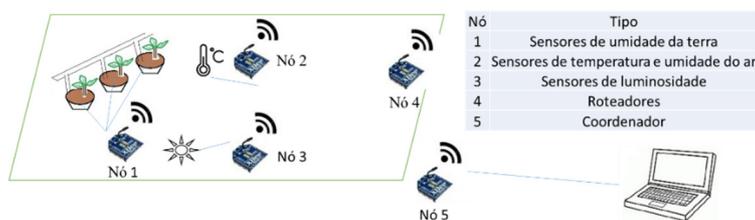


**Figura 1. Exemplo de uma RSSF em estufa de larga escala**

O nó coordenador se comunica com a estação base que armazena todos os dados recebidos. Os dados obtidos, pela estação base, podem ser apresentados na forma de tabela ou gráficos. A seguir, para testar a parte central do sistema de monitoramento da estufa agrícola foi feita uma implementação prática.

#### **4. Implementação prática**

Para a implementação prática do projeto proposto, uma configuração simplificada de uma RSSF foi utilizada, conforme mostrada na Fig. 2. Nesta implementação prática não foram utilizados atuadores.



**Figura 2. Rede simplificada para implementação prática.**

Observa-se pela Fig. 2 que no Nó 1 está conectado com um sensor de umidade da terra, no nó 2 um sensor de umidade e temperatura do ar, no nó 3 um sensor de luminosidade e o nó 4 é um roteador intermediário. O Nó 5 é o Coordenador da rede, que receberá todas as informações e irá transmitir para o computador pela porta USB.

#### **4.1 Projeto do Nó sensor**

O projeto do nó sensor pode ser dividido em duas partes, uma parte relativa ao rádio, para a transmissão de dados sem fio, e a outra parte, um hardware que coleta os dados do sensor e envia ao rádio.

##### **4.1.1 Projeto da parte do rádio**

Para o rádio foi escolhido um componente que é compatível com a recomendação da Zigbee (2016). A Zigbee Alliance (2016), uma aliança entre dezenas de grandes empresas internacionais, foi fundada em 2002, com o objetivo de padronizar e continuamente desenvolver o Zigbee, padrão de rede sem fio de baixa velocidade e baixa utilização de energia.

O padrão de redes PAN de baixa transmissão IEEE 802.15.4 define a camada Física e de MAC utilizada pela Zigbee, com velocidade de transmissão de 250Kbps e endereçamento local de 16bits, ou de 0 a 65535 endereços, sendo o endereço 0 reservado para o coordenador.

As especificações da Zigbee se mostram adequadas para a sua utilização em estufa agrícola, principalmente pela sua baixa velocidade de transmissão e baixo consumo de energia, além de ser um componente fácil de encontrar no mercado.

O rádio utilizado, neste projeto, é o Xbee Zigbee (2016). O rádio Xbee Zigbee é fabricado pela empresa Digi seguindo os padrões Zigbee. Possui uma limitação de 14 nós filhos e alcance de sinal em 60 m para ambientes fechados. As antenas são configuradas utilizando o software XCTU (2016), fornecido no site da Digi. Através do XCTU, pode-se definir o modo de funcionamento das antenas (Coordenador, Roteador ou Nós sensores), PANID, endereço de destino entre outros.

##### **4.1.2 Projeto da parte do hardware**

Para esta parte foi utilizado o kit do Arduíno Uno (2016). O Arduíno Uno é uma placa com microcontrolador ATmega328P. Possui clock de 16 MHz, 32KB de memória

flash, 14 portas digitais para input/output, 6 portas analógicas e porta USB. Para cada nó sensor foi inserido um algoritmo no microcontrolador para captura e envio de dados. A captura de dados dos sensores é feita através da leitura de uma ou mais portas analógicas.

#### **4.2 Nós sensores desenvolvidos**

Os três tipos diferentes de nós sensores são desenvolvidos: de temperatura e umidade do ar, de luminosidade e de umidade da terra.

No nó sensor de temperatura e umidade do ar é utilizado o sensor de temperatura e umidade do ar do tipo DHT11 (2016), conectado a Arduino Uno em uma porta analógica, e uma antena Xbee Zigbee. O sensor DHT11 possui uma biblioteca para Arduino, onde os valores capturados indicam a umidade do ar em porcentagem (%), e a temperatura do ar em Celcius (C°). A precisão da temperatura é de  $\pm 2$  graus, e a precisão da umidade do ar é de  $\pm 5\%$ .

O nó sensor de luminosidade possui um LDR (Resistor Dependente de Luz) conectado ao Arduino em uma porta analógica, e uma antena Xbee Zigbee. Os valores capturados na porta analógica são entre 0 e 1023. Foi dividido em dez escalas de aproximadamente 100 unidades representados por números de 0 a 9 onde um menor número indica menor incidência de luz.

O nó sensor de umidade da terra é composto por um sensor que detecta as variações de umidade no solo, conectado a uma porta analógica do Arduino Uno, indica valores entre 0 e 1023. Foi dividido em dez escalas de aproximadamente 100 unidades representados por números de 0 a 9 onde um menor número indica menor umidade.

Para os projetos do nó roteador e do nó coordenador, como esses nós possuem somente a parte de rádio, foram utilizados os rádios da Xbee Zigbee.

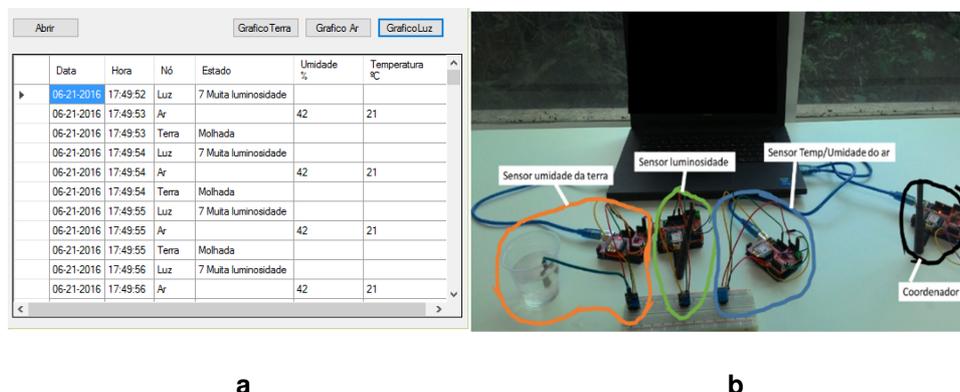
### **5. Experimento realizado.**

Em sala de laboratório da FACCAMP (Faculdade Campo Limpo Paulista) uma RSSF foi configurada para testar o funcionamento de nós sensores de luminosidade, temperatura/umidade do ar e umidade da terra. Cada nó sensor capturou dados com intervalo de um segundo por um período de 5 minutos. Os dados capturados foram encaminhados para o nó coordenador, que por meio da porta USB foi gerado um log com o programa XCTU.

Foi desenvolvido um software para leitura do log gerado com visualização dos dados em tabela indicando o nó sensor de origem e os valores capturados. A Fig. 3a mostra a tela do software com colunas de data, hora, nó de origem, estado, umidade do ar em % e temperatura do ar em °C. Na Fig. 3b é mostrada uma foto da RSSF desenvolvida.

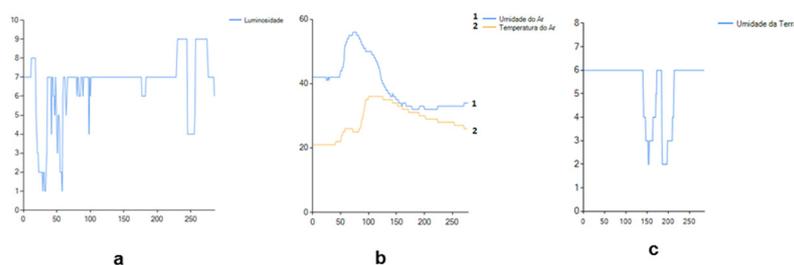
Durante a captura dos dados foram realizadas simulações de variação de iluminação, temperatura/umidade do ar e umidade da terra. Para o nó sensor de

luminosidade foi bloqueada a luz e depois utilizada uma lanterna diretamente no sensor. Os valores abaixo de 7 indicam menor quantidade de luz capturada pelo sensor, e os valores acima de 7 indicam maior quantidade de luz, como mostrado na Fig. 4a.



**Figura 3. (a) Tela do software visualizador de log. (b) Foto da RSSF desenvolvida.**

Foi utilizado um aquecedor de ar elétrico diretamente sobre o nó sensor de temperatura/umidade do ar. A Fig. 4b mostra a variação de temperatura/umidade do ar. O nó sensor de umidade da terra estava inicialmente com o sensor submerso em um copo de água para simular terra molhada. O sensor foi removido do copo para simular terra seca e o valor capturado, como mostrado na Fig. 4c



**Figura 4. Gráficos resultantes do experimento em laboratório. (a) gráfico de variação de luminosidade. (b) gráfico de variação de temperatura/umidade do ar. (c) gráfico de variação de umidade da terra.**

## 6. Conclusão e Trabalhos futuros.

O sistema de monitoramento de uma estufa agrícola de larga escala proposto, neste artigo, foi baseado em uma rede de sensores sem fio configurada em uma forma hierárquica. O projeto dessa configuração, assim como uma implementação simplificada foram detalhados. Os testes de um experimento em laboratório mostraram que a rede proposta funciona adequadamente, coletando os dados dos sensores e o software desenvolvido mostrou, em gráficos, as variações dos dados capturados.

Para futuros trabalhos, o sistema de monitoramento será desenvolvido com nós sensores e atuadores. Um experimento deverá ser realizado para mostrar realimentação na rede através de eventos, acionando o atuador de acordo com limiares definidas para os tipos de dados capturados. Esse experimento em laboratório também será realizado

utilizando bateria para os nós sensores, dessa forma sendo possível calcular a vida útil de um nó sensor projetado. Para se ter resultados mais conclusivos do sistema projetado, são necessários testes em campo, em uma estufa real, que serão feitos, na medida do possível, na estufa da empresa Ervas Finas Horticultura.

## Referências

Kalaivani, T., Allirani, A., Priya, P. (2011). “A Survey on Zigbee Based Wireless Sensor Networks in Agriculture”, 3rd International Conference on Trendz in Information Sciences & Computing (TISC2011), p 85-89.

Benavente, J.C.C. (2010). *Monitoramento ambiental de vinhedos utilizando uma rede de sensores sem fio que coleta dados com um intervalo de amostragem variável*. Dissertação de Mestrado.

Pawlowski, A., Guzman, J. L., Rodríguez, F., Berenguel, M., Sánchez, J. e Dormido, S. (2009). “Simulation of Greenhouse Climate Monitoring and Control with Wireless Sensor Network and Event-Based Control”, *Sensors*, vol 9, p. 232-252.

Mohanty, N.R, Patil, C.Y. (2013). “Wireless Sensor Networks Design for Greenhouse Automation”, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol 3, p. 257-262.

Ahonen, T., Virrankoski, R., Elmusrati, M. (2008), “Greenhouse Monitoring with Wireless Sensor Network”, *Mechtronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*

Arduíno Uno (2016), disponível em <[www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno](http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno)>, acessado em 16/06/2016.

Xbee Zigbee (2016), disponível em <<http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/rf-modules/xbee-zigbee>>, acessado em 16/06/2016.

XCTU (2016), disponível em <<http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>>, acessado em 16/06/2016

Ervas Finas Horticultura (2016), disponível em <<http://ervasfinasnet.com.br>>, acessado em 28/06/2016.

Zigbee (2016), disponível em <<http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeepro/>>, acessado em 05/07/2016.

Zigbee Alliance (2016), disponível em <<http://www.zigbee.org/>>, acessado em 28/06/2016.

DHT11 (2016), disponível em <<http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>>, acessado em 05/07/2016.