

Sistema Embarcado para Monitoramento de Dados Atmosféricos

Camila Andrade Santos and Maicon Aparecido Sartin

Resumo—Alguns dos problemas existentes em plantações estão relacionados ao manuseio errôneo de insumos, dado ao fato do agricultor, muitas vezes acreditar na falsa homogeneidade existente em seu plantio. Um sistema de monitoramento adequado do plantio é necessário para efetuar uma tomada de decisão correta e determinar quantidades específicas de insumos agrícolas. Neste sentido, desenvolveu-se um sistema de monitoramento agrometeorológico com três principais características: *hardware*, *software* e comunicação. O *hardware* é responsável por adquirir e efetuar o pré-processamento dos dados. O *software* é responsável por registrar os dados e apresentar as informações de modo organizado para o usuário. A comunicação é responsável por transportar os dados do módulo remoto à base (computador). Em experimentos efetuados com o sistema, foi possível adquirir a validação da comunicação e dos valores mensurados pelos sensores, bem como a integração de todo o sistema, incluindo o banco de dados. Os experimentos foram executados em dias e climas distintos para analisar a adaptação do módulo ao ambiente em que está inserido.

Palavras-chave—Módulo XBee, Agricultura de Precisão, Módulo Transdutor, Agrometeorologia, Java.

1 INTRODUÇÃO

Agricultura é uma das atividades primordiais para o desenvolvimento de uma sociedade e atualmente, é uma das atividades econômicas do setor primário mais praticadas mundialmente. Por vezes, o manuseio inadequado de insumos em plantios pode resultar em perdas significativas devido as deficiências em plantações causadas por tais práticas errôneas, podendo também, contribuir para a degradação ao meio ambiente. Decisões incorretas sobre o plantio podem ocorrer por efeito de agricultores basearem-se em informações de dados/previsões climáticas de regiões vizinhas, que geralmente não representam a situação local e não atribui precisão à tomada de decisão ou por praticarem a abordagem tradicional da agricultura, em que a análise do plantio é feita por amostragem, ou seja, analisa-se uma parcela do plantio, e toma-se decisões gerais para a lavoura, o que não apresenta bons resultados, uma vez que os dados retornados não demonstram as necessidades gerais da plantação ou área específica.

Como alternativa a esta prática, existe a Agricultura de Precisão (AP) com um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da lavoura, visando um aumento de retorno econômico, sustentabilidade e minimização do efeito ao meio ambiente. A AP busca reorganizar o sistema total de agricultura, almejando alta eficiência, tendo a prática agrícola apoiada por tecnologias, como sistemas de posicionamento global (GPS), sistema de informação geográfica (SIG), controle automático, computação móvel, processamento avançado de informações, dentre outros [1], [2]. Desta forma, a AP

aumenta o número de decisões corretas por unidade de área de terra e tempo com benefícios líquidos associados, e possibilita o agricultor coletar dados mais abrangentes sobre a variabilidade de sua produção [3].

Com a atual disseminação da tecnologia mundial entre os jovens, o desenvolvimento de sistemas embarcados para diversas finalidades vem aumentando. No agronegócio não é diferente, pois conforme Bernardi e Inamasu [4] o perfil dos usuários de AP no Brasil, são em sua grande maioria jovens, instruídos e propensos ao uso das mais variadas formas de tecnologias em suas plantações. Porém, ainda assim, a adoção da AP no Brasil ocorre de maneira lenta e desigual, devido ao elevado custo dos equipamentos importados de alta tecnologia necessários a AP. Geralmente tecnologias embarcadas beneficiam-se de microcontroladores para executar tarefas específicas e de baixo custo. Com isso, na agricultura, tal ferramenta, possui uma gama imensa de possibilidades de uso. O desenvolvimento de módulos transdutores utilizando microcontroladores é comum em diversas áreas da indústria, e a construção de tal tecnologia é de extrema importância para auxiliar o produtor na devida análise de sua plantação.

Módulos transdutores são compostos por sensores e atuadores. Quando existe a necessidade de transformar uma grandeza física em energia elétrica ou vice-versa, utilizam-se transdutores para adquirir ou efetuar alguma ação no ambiente [5]. Frequentemente, microcontroladores são empregados na gestão de transdutores. Microcontroladores são pequenos computadores dentro de um chip. Estes dispositivos são basicamente constituídos de uma CPU, de memórias (RAM, EPROM e FLASH) e de periféricos, como: portas E/S, I²C, SPI, USART, entre outros [6].

A construção de tecnologias para automação, aquisição, ou monitoramento do ambiente em sistemas de produção é feita para diversos tipos de plantações. Em Santos et al. [7] é construído uma miniestação agrometeorológica aplicado à agricultura de precisão, baseada no microcon-

- *Mestranda em Computação Aplicada pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). E-mail: cammiandrad@gmail.com*
- *Professor adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). E-mail: mapsartin@gmail.com*

trolador ESP8266, com isso, para comunicação utilizou Wi-Fi que já vem integrado no microcontrolador. O sistema monitora umidade do ar, temperatura do ar, temperatura do solo, radiação UV, precipitação e luminosidade. Os dados eram coletados conforme a formatação JSON. Em Rocha et al. [8], também foi construído um sistema de monitoramento de irrigação com a utilização de tecnologias de baixo custo, utilizando o microcontrolador ATmega328P e para a comunicação o módulo XBee. Para o desenvolvimento do software utilizou-se a linguagem de programação JAVA. O sistema busca auxiliar agricultores da região do Vale do Açu – RN na cultura do mini milho.

Com isso, este trabalho apresenta um sistema embarcado de monitoramento agrometeorológico de baixo custo com módulos transdutores móveis capazes de efetuar a aquisição, processamento e apresentação de dados climáticos necessários a plantações, fornecendo fomento a inserção da AP em atividades agrícolas, uma vez que este sistema fornece dados que são utilizados como apoio a decisões.

Desta forma este trabalho é organizado como segue: seção 2 apresenta os materiais e métodos utilizados para a construção do sistema. As partes do sistema, como *hardware*, *software*, comunicação e modos de leitura são expostos na seção 3. A seção 4 expõe os experimentos e resultados obtidos, bem como o custo total do sistema, seguido pelas considerações finais (seção 5).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção do sistema, inicialmente avaliou-se o funcionamento de estações meteorológicas bem como quais eram seus principais componentes. Para isso, utilizou-se do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa¹ (BDMEP) disponibilizado para a população pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e também o *site* das estações automáticas² do INMET, buscando as variáveis climáticas mais recorrentes nas estações para selecionar as grandezas que iriam compor o sistema. Com isso, observou-se que as mais recorrentes são: temperatura do ar, umidade do solo, umidade do ar, pressão atmosférica e altitude relativa do mar.

Devido a sua facilidade de uso, definiu-se que seria utilizado algum microcontrolador da família ATmega. Após estudos comparativos acerca das características e processamentos dos microcontroladores, o ATmega328p correspondeu às necessidades deste projeto, respeitando a necessidade de baixo custo e baixo consumo de energia.

Para a comunicação, definiu-se que seria utilizado a tecnologia ZigBee, pois este trabalho busca apresentar uma solução em que a aplicação não precise ficar dependente de rede *internet* para seu funcionamento, uma vez que em campos é comum o mal funcionamento deste. Além disso, a tecnologia ZigBee oferece comunicação de longo alcance com baixo consumo de energia.

O *software* para o computador foi construído a partir da análise de características do *data logger WeatherLink* (Davis)

³ e o sistema Agritempo⁴ da Embrapa, para definir como seria disposto o conteúdo do *software* deste sistema.

3 SISTEMA

O sistema proposto é composto por três partes principais, sendo *hardware*, *software* e comunicação. O *hardware* é responsável por fazer a aquisição, o pré-processamento e a comunicação dos dados entre o módulo transdutor e o computador. O *software* é responsável por fazer a apresentação adequada das informações para o usuário e o armazenamento das mesmas para análises futuras. A comunicação é feita a partir de módulos XBee conforme padrão IEEE 802.15.4. A Figura 1 exemplifica a relação entre as principais partes do sistema.

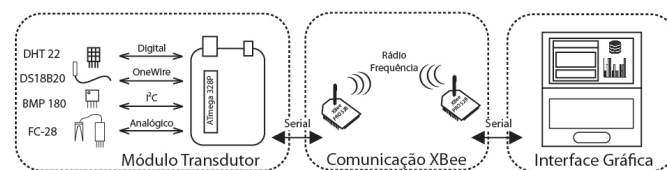


Fig. 1. Arquitetura do Sistema.

3.1 Hardware

O *hardware* é composto por módulos transdutores responsáveis por efetuar a mensura de dados climáticos e comunicação com o computador. Como exposto na seção 2, os dados climáticos adquiridos pelo sistema são: temperatura do ar, temperatura do solo, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, umidade do solo e altitude relativa do mar.

Por meio de estudos e testes, foram selecionados os seguintes sensores para compor o sistema:

- BMP180: capaz de medir temperatura em graus *celsius* (°C), pressão atmosférica em *hectopascal* (hPa) e altitude relativa do mar em metros (M). Possui auto calibração e opera a uma tensão de 1.8 a 3.6V. Sua comunicação é feita por meio da interface I²C, em que utiliza-se das portas A4 *Serial Data* (SDA) e A5 *Serial Clock* (SCL) do ATmega328p. A faixa de medição da pressão é de 300-1100hPa com exatidão de ± 0.12 hPa. A faixa de medição da temperatura é de -40 a 85 °C com exatidão de ± 1.0 °C. Depois de mensurado a pressão e a pressão ao nível do mar, é utilizado a fórmula internacional barométrica para chegar ao resultado da altitude relativa do mar;
- AM2303 - DHT22: capaz de medir temperatura e graus *celsius* (°C) ou *fahrenheit* (F) e umidade relativa do ar em (%). Possui auto calibração e opera a uma tensão de 3.3 a 5V. Sua comunicação é efetuada por meio de portas digitais por meio de um único fio (*single-bus*). Possui exatidão de ± 2 para umidade e ± 0.5 °C para temperatura;
- FC-28: capaz de medir umidade do solo em (%). Possui um chip comparador (LM393) que recebe os

1. <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>

2. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>

3. <http://www.davisnet.com/product/weatherlink-products/>

4. <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>

dados advindos do sensor que encontra-se em contato com o solo e os envia para o microcontrolador. Possui auto calibração e opera a uma tensão de 2.1 a 5.5V. sua comunicação pode se dar tanto em portas digitais quando se deseja saber se há ou não umidade no solo, quanto em analógicas, quando se deseja saber a porcentagem de umidade do solo;

- DS18B20: capaz de medir temperatura do ar, solo e água em graus *celsius* (°C). Estas aplicabilidades são devido a sua característica de ser a prova d'água, dependendo do encapsulamento utilizado. Possui auto calibração e opera a uma tensão de 3 a 5.5V. Sua exatidão é de ± 0.5 °C. Sua comunicação é feita por meio de portas digitais do microcontrolador. Possui a tecnologia *OneWire* que permite que sejam lidos vários sensores em uma única porta, o que pode tornar o sistema mais robusto. Esta funcionalidade é possível pelo fato de cada sensor conter um identificador único.

As mensuras realizadas pelos sensores foram comparadas com medições de aparelhos regulamentados (termômetros analógicos, multimídia digital e monitores de gabinete de computador), e também foram feitas comparações com dados disponibilizados pelo INMET para validação dos dados.

O módulo construído neste projeto, visa cumprir funções exercidas por estações meteorológicas de superfície direcionada à agrometeorologia. Na visão agrônômica, a temperatura é um fator de grande importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, tal mensuração, afeta diretamente a produção na plantação e justifica o fato do sistema possuir mais de um sensor capaz de mensurar temperatura. Quando essa medida não for obtida corretamente, pode afetar no processo de germinação, crescimento, floração, frutificação, respiração, fotossíntese ou na absorção de água e nutrientes [9].

A umidade relativa do ar afeta a plantação quanto aos aspectos de transpiração, redução de temperatura da planta e a absorção dos nutrientes. Quando se tem uma umidade relativa do ar alta, a plantação fica mais propensa ao aumento de população de pragas. Em contrapartida, quando a umidade relativa é muito baixa, causa um aumento excessivo de transpiração, na maioria das plantas [9].

O sensor DHT22 mensura duas grandezas, temperatura e umidade, tornando-se capaz de retornar se o dia foi muito seco ou não. A umidade é a quantidade de vapor de água presente na atmosfera, com isso, quanto mais água estiver presente no ar, maior será a retenção do calor, e assim, os dias serão mais úmidos e vice-versa. Com isso, o produtor pode preparar uma rotina de irrigação maior, caso seja detectado um tempo seco.

Já a pressão atmosférica, é considerada normal ou referência, com valores em próximos a faixa de 1013 hPa. Quando o valor for maior, significa que a pressão está alta, o mesmo é válido para pressão baixa. A pressão atmosférica possui uma relação inversamente proporcional com a umidade do ar, o que faz com que este sensor possa indicar a possibilidade de chuva ou não, pois pressão baixa indica umidade do ar elevada, e com isso possibilidade de chuva.

Como é de conhecimento, a água é essencial no processo

de cultivo das plantas. Porém, é essencial a racionalização deste elemento tanto para não prejudicar o desenvolvimento da planta, quanto para evitar o seu desperdício. Com isso, o monitoramento da umidade do solo é capaz de retornar a devida necessidade de irrigação da plantação em que lhe é inserido.

Além dos sensores, o módulo transdutor possui uma plataforma microcontroladora para realizar o processamento das informações. Como comentado na seção 2, o microcontrolador utilizado no módulo foi o ATmega328p, pelo fato de ser o microcontrolador da família ATmega de menor custo correspondente às necessidades de processamento do sistema. Para a alimentação do módulo transdutor, foi utilizado uma bateria solar *power bank*, com bateria de polímero de lítio com 5000mAh (*miliampère-hora*) com carregador solar de 5V e 200mA resistente a água, com saída de 5V e 2000mA, para atribuir portabilidade ao módulo torná-lo sustentável. A plataforma Arduino é conectada a bateria via USB.

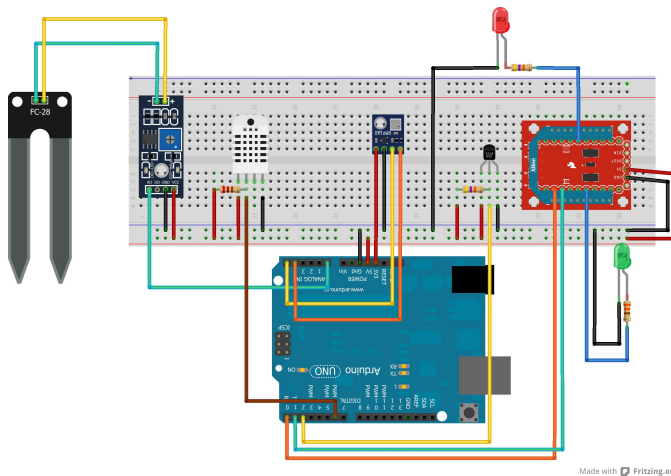


Fig. 2. Componentes de Hardware do Sistema.

3.2 Software

A aplicação para o computador foi desenvolvida em linguagem de programação orientado à objetos (Java) no ambiente de desenvolvimento integrado NetBeans. Conforme mencionado na seção 2, após a observação de sistemas semelhantes, chegou-se a conclusão de construir o *software* em abas, visando uma melhor organização dos dados para apresentação e análise do usuário. Cada aba é responsável por apresentar um tipo de informação, para que o usuário possa analisá-lo de forma individual. Porém também há uma aba com a apresentação de todas os sensores do módulo para uma análise geral. A Figura 3 ilustra a interface gráfica do sistema de monitoramento agrometeorológico.

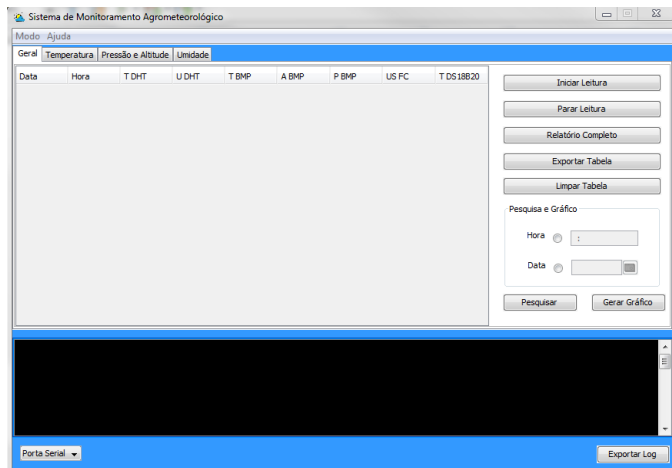


Fig. 3. Interface Gráfica do Software.

Na barra de ferramentas no menu “Modo” contém as opções de modo de operação do sistema, se no modo automático ou manual. No modo automático, são realizados 20 mensuras por hora e armazenados no banco de dados como a média aritmética da hora. No modo manual, o usuário inicializa as mensuras quando e quantas vezes desejar. É necessário selecionar o modo de operação para iniciar a leitura e a porta serial em que o *XBee* está conectado, na parte inferior esquerda do *software*. Feita as configurações, basta clicar no botão “Iniciar Leitura”. Ao clicar no botão “Parar Leitura”, a mensura será encerrada e a porta de comunicação será fechada.

O botão “Relatório Completo” apresentará na tabela da aba “Geral”, todos os dados que estão armazenados no banco de dados. Exceto esses três botões, as demais abas contém as mesmas funcionalidades apresentadas às grandezas de forma individual. As funcionalidades são:

- Exportar Tabela: Para exportar os dados que estão sendo apresentados na tabela da aba selecionada no momento. Para exportar a tabela, é necessário fazer uma pesquisa antes. Os dados são exportados conforme formatação para leitura em planilhas eletrônicas;
- Atualizar Tabela: Atualiza tabela conforme a última pesquisa efetuada;
- Limpar Tabela: Limpa os dados exibidos na tabela;
- Pesquisar: A pesquisa pode ser feito por hora ou data. Para isto, basta selecionar o campo desejado e inserir uma informação;
- Gerar Gráfico: Acontece de forma análoga a Pesquisa, porém somente é gerado um gráfico por data. Os gráficos podem ser salvos em extensões .PDF, .PNG ou .SVG. É possível editar algumas propriedades dos gráficos no momento de visualização, para ser exportado de acordo com a necessidade do usuário. Para a geração dos gráficos, utilizou-se a biblioteca *JfreeChart* ⁵.

Na parte inferior do *software* (tela preta), está o monitor serial, em que nele são apresentados *feedback* das ações do usuário e também os dados advindos do módulo TIM

em tempo real. Essas informações são importantes quando o usuário escolhe o modo automático, pois neste modo são efetuadas 20 mensuras e é armazenado no banco de dados somente a média. Com este modo, o usuário consegue acompanhar as medidas interdiárias antes de ser armazenado, os dados podem ser exportados no botão “Exportar Log” como arquivo de extensão .txt. Por fim, na barra de ferramentas, o menu “Ajuda” disponibiliza tutoriais para executar operações no *software*.

3.3 Comunicação

A rede é responsável pela transferência das informações entre o módulo transdutor e o computador. A comunicação é construída com o uso de módulos de rádio frequência *XBee S2B PRO, Series 2 (XBP24 ZB)*. Os módulos *XBee* utilizam a tecnologia *ZigBee*, uma forma de comunicação que utiliza em suas camadas inferiores o padrão IEEE 802.15.4, criado pela *ZigBee Alliance* ⁶ [10].

Este modelo possui um alcance de 600m em zona urbana e 900m em zona rural, comprovados em testes efetuados com os módulos. Possui uma taxa de transmissão de 250.000 b/s e opera a uma tensão de 2.7 a 3.6V. Conversa com outros dispositivos por meio da interface UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). A estrutura básica de um módulo *XBee* é a junção de um *firmware* para definir a interface e a função que o módulo terá na rede; um protocolo que definirá como a comunicação será feita; e um *hardware*, que representa a organização da pinagem.

Um módulo pode assumir duas interfaces para comunicação, sendo Transparente (AT) e Aplicação de Interface Programada (API). Na interface AT protocolo se comporta como um substituto da linha serial. Nela os dados são recebidos da UART pelo pino DIN e entra para a fila de transmissão RF. Após os dados RF serem recebidos, são enviados para fora da UART pelo pino DOUT, não sendo necessário a montagem manual de um *frame*. Não é possível fazer a alteração dos endereços de destino em tempo de execução, para isto é necessário entrar em modo comando. Na interface AT, o receptor não informa na saída o endereço do transmissor. As vantagens desta interface é a manutenção e a simplicidade na troca de informações. Já a interface API é baseada em *frames* que estende o nível a que um aplicativo *host* pode interagir com os recursos de rede do módulo. Todos os dados que entram e saem do módulo estão contidos em *frames* que definem as operações ou eventos dentro do módulo. Como exemplo, os *frames* possuem a identificação do endereço de origem dos pacotes, recebe o estado de sucesso/falha de cada pacote, dentre outras funcionalidades. Possibilita a alteração do endereço de destino em tempo de execução. É recomendado para utilização em redes maiores como *mesh* por exemplo.

Um módulo com a tecnologia *ZigBee* pode assumir três funções em uma rede, sendo coordenador, roteador ou dispositivo final. É obrigatório em uma rede, conter um módulo coordenador, pois este é responsável por atribuir endereços aos módulos na rede e fazer a manutenção da mesma. Um coordenador suporta até 65.535 dispositivos conectados a sua rede [10].

5. <http://www.jfree.org/jfreechart/>

6. <http://www.zigbee.org/>

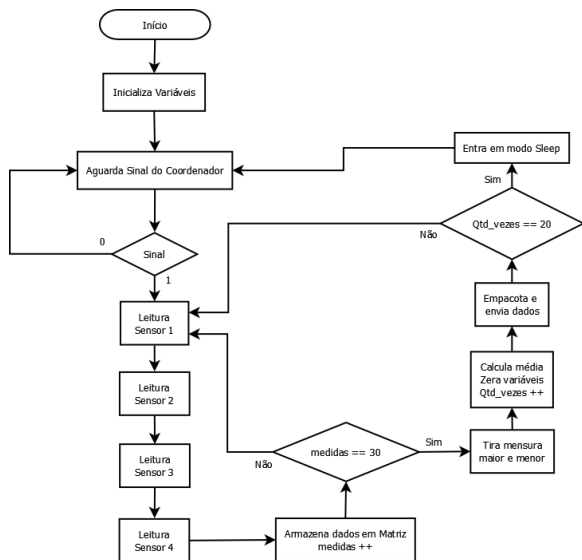


Fig. 4. Fluxograma do protocolo do módulo TIM.

Por se tratar de um sistema voltado a pequenos produtores inicialmente, optou-se pela utilização de uma rede simples de topologia ponto a ponto com interface AT. Para a configuração dos módulos é necessário a utilização do *software* XCTU disponibilizada pelo fabricante⁷. Para compor a rede utilizou-se de um módulo com a função Coordenador e outro com a função Roteador. As principais configurações são os endereços de destino, compostos pela parte alta, SH para coordenador e DH para roteador, e parte baixa, SL para coordenador e DL para roteador. O endereço é encontrado na parte inferior do módulo, e compreende em um endereço MAC no formato 0013A200 406F17FD. Como trata-se de uma comunicação ponto a ponto, basta colocar o endereço de um módulo em outro. O parâmetro ID é preciso ser alterado também, pois indica o nome da rede.

No microcontrolador, o módulo *XBee* é conectado nas portas RX TX, e foi necessário a utilização de um adaptador *ProtoBee* para fazer a conversão de tensão. No computador, o módulo *XBee* é conectado via USB, sendo necessário um adaptador *XBee Explorer Dongle*. As configurações acerca da comunicação RS232 devem ser feitas no módulo e no *software* no computador para que a comunicação aconteça. No *software* do computador foi utilizado a biblioteca *RXTX Native Library*⁸ devido a sua eficiência [11].

3.4 Modos de Leitura

Como mencionado na seção 3.2, para que o módulo transdutor inicialize as leituras, é necessário que a base (*Software* Java no PC) envie um sinal. A Figura 4 mostra o funcionamento do *software* embarcado no microcontrolador.

O módulo TIM espera o sinal da base, e inicializa a leitura dos sensores. Efetua as leituras por 30 vezes e retira do conjunto a maior e a menor leitura, buscando evitar possíveis erros ao iniciar e ao terminar a leitura dos sensores. Calcula a média das 28 leituras que sobraram, empacota de uma forma que o *software* no computador esteja

esperando, e incrementa a variável *Qtd_vezes*. Repete esse processo até a variável *Qtd_vezes* seja igual a 20, ou seja, são as 20 mensuras mencionadas na seção 3.2. Após as 20 mensuras, o módulo entra em modo *sleep*, em que diversas funções do microcontrolador são desligadas para poupar energia, como *adc*, *spi*, *timers*, dentre outros.

A Figura 5 ilustra o funcionamento do modo automático do sistema de monitoramento agrometeorológico.

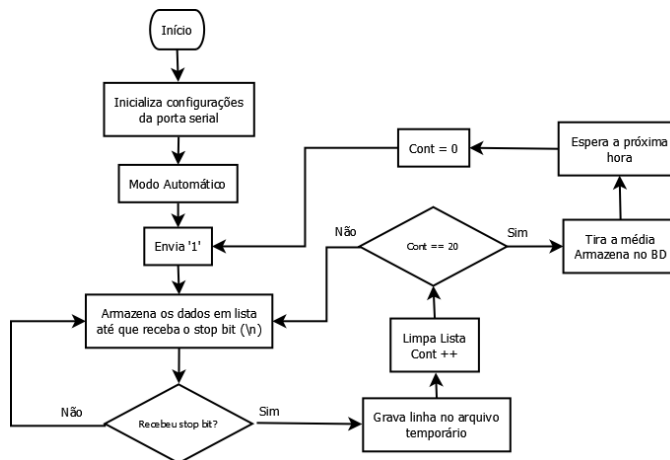


Fig. 5. Fluxograma do modo automático do Software.

Quando selecionado o funcionamento em modo automático, o sistema envia o *byte* '1' que é o sinal que o módulo TIM está esperando, e fica escutando os eventos na porta serial. Conforme os dados vão chegando, os armazena em uma lista (*ArrayList*), do tipo *String*, até que encontre o *stop bit*, representado por uma quebra de linha. Quando receber o *stop bit* grava a linha em um arquivo temporário, limpa a lista e incrementa o contador. Repete o processo por 20 vezes, referente as 20 médias advindas do módulo TIM. Ao fim dos 20 recebimentos, o *software* tira a média desses valores, e o armazena no banco de dados como sendo a média da hora. Enquanto o módulo TIM entra em modo *sleep*, o *software* no computador aguarda a próxima hora. Na próxima hora, zera o contador e inicializa o processo novamente até que o usuário finalize a mensura. No modo manual, a diferença é que o processo será executado somente uma vez, e o sistema ficará aguardando o próximo sinal do usuário para inicializar a mensura novamente, ao invés de aguardar a próxima hora.

4 RESULTADOS

O experimento com o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico foi dividido em dois ambientes, interno e externo. No ambiente externo foram adquiridos os dados de todos os sensores em oito dias distintos, com climas diferentes (chuva, nublado e sol). Já no ambiente interno, foi definido em seis dias. As datas de aquisição dos dados estão na seguinte sequência crescente das amostras, a primeira parte com 54 amostras estão no intervalo de 21 a 24/05/2016, a segunda parte com 22 amostras do dia 20/09 a 15/10/2016, a terceira parte com 194 amostras contínuas finais estão no intervalo do dia 18 a 27/09/2017. As duas primeiras partes foram adquiridas na cidade de Colider-MT e a terceira na cidade de Sinop-MT.

7. <https://www.digi.com/>

8. <http://rxtx.qbang.org/>

As diferenças entre os ambientes de teste tornam o sistema mais robusto, não só quanto aos dados adquiridos pelo hardware (sensores), mas também na viabilidade de comunicação e registro dos dados pelo computador.

A apresentação dos resultados foi definida para cada grandeza do módulo transdutor, conforme o gráfico próprio desenvolvido na interface gráfica do sistema, botão “Gerar Gráfico”. Assim, o usuário pode gerar seus próprios gráficos na interface gráfica da mesma forma como está ilustrado nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10. As figuras foram geradas para o dia 26 de setembro de 2017.

A precisão dos sensores e dados adquiridos é ilustrada na Figura 6, pelo fato de que existe mais de um sensor para a mesma grandeza e dia. Mesmo com pequena diferença entre os sensores, um fator que pode ter causado tal diferença, é que o sensor DS18B20 está em um invólucro a prova de água e fora da caixa de madeira, no qual estão os demais equipamentos.

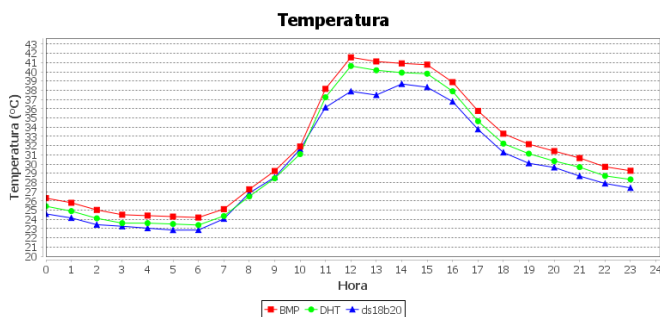


Fig. 6. Gráfico do SISMA para temperaturas no dia 26/09/2017

Os dados de umidade do ar são apresentados na Figura 7, e quando comparado a Figura 6 observa-se que os dados são inversamente proporcionais.

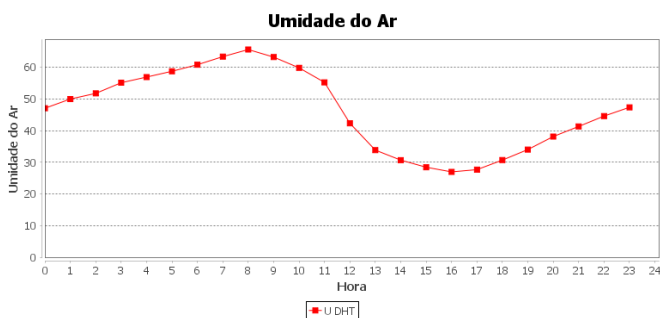


Fig. 7. Gráfico do SISMA para umidade do ar no dia 26/09/2017.

Os dados de umidade do solo são apresentados pela Figura 8. A aquisição dos dados apresentados foi em um dia diferente das demais figuras, devido ao fato, dos valores não se alterarem muito, semelhante aos da pressão, Figura 9. Assim, a Figura 8 apresenta os dados do dia 19/09/2017, cuja primeira hora do dia o sensor estava fora do solo e nas demais horas estava enterrado em um pequeno vaso irrigado anteriormente. Logo, visualiza-se com essa ação a diferença de umidade na leitura do sensor.

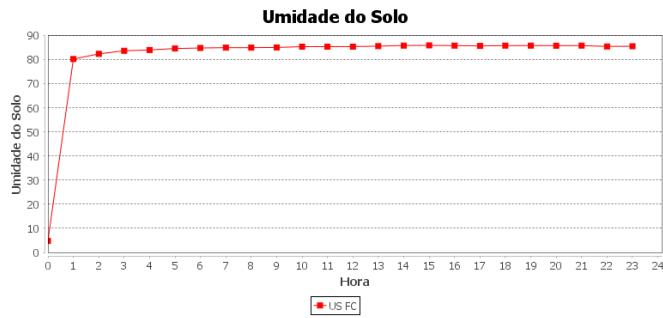


Fig. 8. Gráfico do SISMA para umidade do solo no dia 19/09/2017.

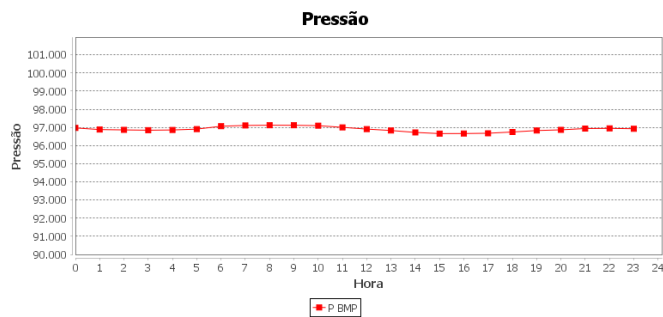


Fig. 9. Gráfico do SISMA para a pressão no dia 26/09/2017.

Os dados de altitude no sensor BMP180 são apresentados na Figura 10. Nesse período de seca no estado de Mato Grosso, os dados de altitude coletados na terceira parte do experimento tiveram o mesmo comportamento. Os maiores picos por volta das 2 e 16 horas do dia, e o menor valor é registrado por volta das 10 horas.

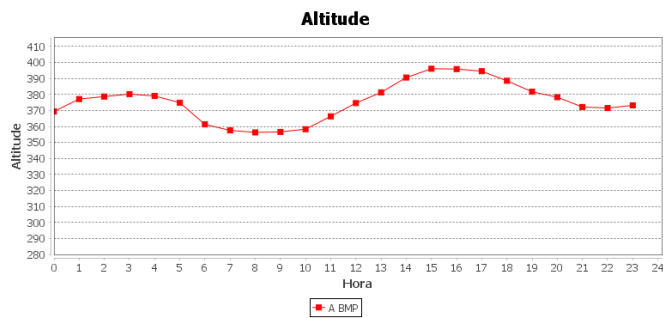


Fig. 10. Gráfico do SISMA para a altitude no dia 26/09/2017.

Para análise de todas as amostras adquiridas em três distintos sensores de temperatura, a Figura 11 mostra a relação entre todas as amostras e os sensores. Com exceção as amostras iniciais até 54 e as amostras 77 e 78 da Figura 11, foram momentos não registrados, respectivamente pelos sensores DS18B20 e DHT. A correlação entre os sensores de temperatura verificou-se por meio de um gráfico de dispersão apresentado pela Figura 12.

Na Figura 11, percebe-se também a consistência dos dados em diversos dias com tais sensores e claramente a diferença entre uma parte e outra das amostras. Os dados foram adquiridos próximos ao solo em locais distintos. Nas amostras da terceira parte, ou seja, do número 77 até 271 foram adquiridas de forma contínua, aproximadamente

metade das amostras em ambiente interno e metade em ambiente externo, respectivamente. O primeiro local é de uma ambiente interno, em laboratório sem ar-condicionado. Já o segundo em local foi definido em ambiente externo diretamente exposto a luz solar. No ambiente externo observase picos maiores, bem definidos, de temperatura no mesmo período do dia, geralmente entre as 11 até 16 horas do dia.



Fig. 11. Amostras de temperaturas com três sensores.

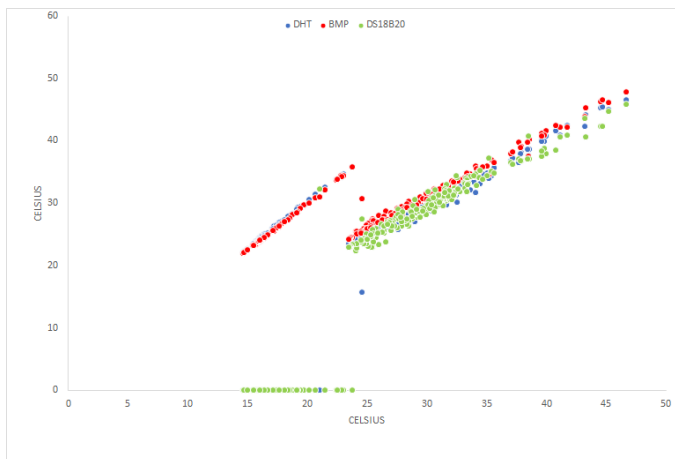


Fig. 12. Dispersão dos dados de temperaturas entres os três sensores.

4.1 Custo do sistema

O custo de montagem do módulo TIM completo (1 módulo + base), não ultrapassou o valor de R\$ 500,00. Porém caso haja a necessidade de adicionar um ou mais módulos TIM ao sistema, o custo deste será de R\$ 298,87 por unidade, pois não há a necessidade de adicionar outro Xbee coordenador, que por sua vez não necessitará de outro Xbee Explorer Dongle, sendo estes adicionados ao valor primário do sistema. Poderá ter um custo ainda menor pelo fato de adquirir os componentes em larga escala.

Para validar o baixo custo do sistema construído, foram analisados vários modelos de estações meteorológicas industriais e comerciais mais utilizados para este tipo de aplicação. A comparação entre os trabalhos relacionados e suas características são listadas na Tabela 1.

TABELA 1
Comparação das Estações Meteorológicas Comerciais. Adaptado de [12]

Modelo	Temp.	Umidade		Pres.	Alt.	Com.	Valor (R\$)
		Ar	Solo				
Ambient Weather	Sim	Sim	Não	Sim	Não	100m	5.300
Oregon Scientific WMR200	Sim	Sim	Não	Sim	Não	100m	3.450
Davis Vantage 6152	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	300 à 1000m	8.600
Davis Vantage Vue	Sim	Sim	Não	Sim	Não	300m	5.200
Davis Vantage 6162	Sim	Sim	Não	Sim	Não	300 à 1000m	14.000
Sistema Proposto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	600 à 900m	500

As estações meteorológicas possuem demais funcionalidades, como Pluviômetro, Radiação Solar e Anemômetro. Com isso, o sistema proposto possui a maioria das características presentes nas estações convencionais, porém pode ser adicionado mais sensores facilmente. Outras funções ainda, poderiam ser adicionadas sem custo, como mínima e máxima das mensuras, que não passam de cálculos adicionais. Com isso, observa-se que módulo TIM oferece a maioria dos serviços das estações convencionais, porém com um preço bem mais acessível. Com o valor de aquisição de uma Davis Vantage 6162 por exemplo, poderiam ser adicionados ao sistema mais 45 módulos. Isso seria capaz de cobrir aproximadamente 45.000 metros.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um sistema de monitoramento agrometeorológico com diversas partes integradas de software e hardware. No software o usuário pode interagir com o sistema por meio de uma interface gráfica em que é possível gerar relatórios e obter monitoramento em tempo real. No hardware foi desenvolvido e comprovado o funcionamento adequado de todos os sensores bem como a comunicação do sistema.

A integração do sistema foi avaliada por meio de experimentos reais em ambientes interno e externo. Os dados adquiridos demonstram a precisão e a capacidade de atuação do sistema com diversos sensores, além da facilidade da análise dos dados pela interface gráfica.

Atualmente a previsão de tempo em fazendas tem sido um dos principais temas abordados. Uma vez que o produtor possui o mapeamento dos fenômenos atmosféricos juntamente com o histórico de vários pontos da fazenda, é possível obter previsões de tempo de uma região específica com maior exatidão. Atribuindo ao agricultor informações detalhadas sobre as condições de tempo local, para tomadas de decisões acerca de seu plantio.

Desta forma, os agricultores podem ser beneficiados com uma ferramenta de baixo custo, de fácil assimilação e com precisão nos dados. O sistema demonstra-se adequado em auxiliar e proporcionar a agricultura de precisão em sistemas de produção. Em trabalhos futuros, pretende-se

incluir outros módulos transdutores e sensores ao sistema de monitoramento agrometeorológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da UNEMAT e FAPEMAT - processo (344915/2012).

REFERENCIAS

- [1] F. V. Juntolli and J. P. Molin, *Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão para o fomento e a difusão da Agricultura de Precisão no Brasil*. EMBRAPA, 2014, ch. Inovação em agricultura de precisão, pp. 553–558.
- [2] N. Zhang, M. Wang, and N. Wang, "Precision agriculture—a worldwide overview," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 36, no. 2, pp. 113–132, 2002.
- [3] A. McBratney, B. Whelan, T. Ancev, and J. Bouma, "Future directions of precision agriculture," *Precision agriculture*, vol. 6, no. 1, pp. 7–23, 2005.
- [4] A. C. d. C. Bernardi and R. Y. Inamasu, *Adoção da Agricultura de Precisão no Brasil*. EMBRAPA, 2014, ch. Inovação em agricultura de precisão, pp. 559–577.
- [5] D. Thomazini and P. U. B. d. Albuquerque, "Sensores industriais: fundamentos e aplicações," *São Paulo*, vol. 3, p. 32, 2005.
- [6] A. N. Miyadaira, "Microcontroladores pic18, aprenda e programe em linguagem c," *EditoraÉRICA*, 2009.
- [7] W. S. E. Santos, M. F. L. Pereira, R. B. de Oliveira Pereira, and E. J. K. Neto, "Miniestação agrometeorológica baseada na plataforma esp8266 para aplicações agrícolas," *Anais da Escola Regional de Informática da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)–Regional de Mato Grosso*, vol. 1, no. 7, 2016.
- [8] F. B. Rocha, R. S. Silva, J. A. N. Alves, M. G. Gê, J. F. Guimarães, B. B. A. Júnior, L. C. Soares, Á. M. Avelino, and C. M. Costa, "Sistema automatizado utilizando tecnologias de baixo custo para controle e monitoramento de irrigações no vale do açu," in *IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN*, 2013.
- [9] J. E. Monteiro *et al.*, "Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola," 2009.
- [10] S. C. Ergen, "Zigbee/ieee 802.15.4 summary," *UC Berkeley, September*, vol. 10, p. 17, 2004.
- [11] C. Lenardo and M. L. Silva, "Comunicação serial em java - uma análise comparativa entre a java communication api e a rxtx native library," 2010.
- [12] C. A. Santos and M. A. Sartin, "Sistema de monitoramento de dados atmosféricos por meio de módulos transdutores." *Jornada Científica*, vol. 7, 2016.