

## SISTEMA AUTOMATIZADO PARA COLETA DE DADOS DE UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA DO AR

ANDERSON M. PALMIERI<sup>1</sup>, LUCIANO R. DA SILVEIRA<sup>2</sup>, JARBAS H. MIRANDA<sup>3</sup>,  
KÉSIA O. DA S. MIRANDA<sup>4</sup>

**RESUMO:** Algumas variáveis climáticas, tais como a temperatura do ar (T) e a umidade relativa do ar (UR) exercem grande influência sobre a produção agrícola. Uma vez combinadas adequadamente, podem resultar em incrementos quantitativos e qualitativos do produto final, o que as tornam indispensáveis no monitoramento e manejo dentro do ambiente de produção. A aquisição de dados é uma importante ferramenta que pode auxiliar nesse processo, resultando em maior eficiência e uso racional dos recursos. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados (SAD) compacto, na forma de um *datalogger* (de construção simples), para monitorar T e UR. Os dados provenientes dos sensores utilizados são gravados numa memória do tipo *flash drive* (USB removível), que é posteriormente conectada a um computador para interpretação dos dados via *software*. A fim de avaliar o desempenho do SAD, os dados registrados foram comparados com os dados de uma estação meteorológica convencional e de uma automatizada, apresentando valores de UR próximos em ambos os casos. Para T, a substituição do amplificador operacional é necessária. Dessa forma, o SAD desenvolvido apresenta-se viável inclusive para aplicações em campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de aquisição de dados; variáveis climáticas, microcontrolador embarcado.

## AUTOMATED SYSTEM FOR RELATIVE HUMIDITY AND AIR TEMPERATURE DATA ACQUISITION

**ABSTRACT:** Certain weather variables such as air temperature (T) and relative humidity (RH) play an important role on agricultural production. Under proper combinations, these climatic factors may generate quantitative and qualitative increments in the final product, which makes them essential at their monitoring and management within the production environment. Data acquisition is an important tool which can assist this process, resulting in higher efficiency and rational use of resources. In this way, the present work had as objective the development of a compact data acquisition system (DAS), in a datalogger form (with easy build) to monitor T and RH. The data acquired from the sensors are stored in a removable USB flash drive and, afterwards, analyzed by a computer via software. To evaluate the performance of DAS, these data were compared with both conventional and automated meteorological station data, showing similar RH values in both cases. For T, replacement of the operational amplifier is required. Therefore, the usage of the developed DAS is feasible, even at field applications.

**KEY-WORDS:** Data acquisition system; weather variables, embedded microcontroller.

<sup>1</sup> Mestrando em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ - USP

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Associado 2, Depto. de Eng. de Biosistemas LEB/ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jhmirand@usp.br

<sup>3</sup> Bacharel em Ciências dos Alimentos, Doutorando do Programa de Pós Graduação em Eng. de Sistemas Agrícolas, Depto. de Eng. de Biosistemas LEB/ESALQ/USP, Piracicaba-SP, lrsilveira@gmail.com

<sup>4</sup> Enga Agrícola, Profa. Dra., Departamento de Engenharia de Biosistemas LEB/ESALQ/USP, Av. Pádua Dias n.11, CEP: 13.418-900, Telefone: (19) 3447-8564/Piracicaba-SP, kosilva@usp.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 9-4-2012

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 11-2-2014

## INTRODUÇÃO

As variáveis físicas climáticas interferem diretamente sobre o ambiente de produção agrícola e normalmente apresentam valores específicos de acordo com o local e encontram-se correlacionadas, ou seja, dependentes umas das outras (PALMIERI, 2009). Essas variáveis físicas, tais como a temperatura (T) e a umidade relativa (UR), ambas do ar, são atributos básicos que servem à definição do tipo climático de uma determinada região.

Alterações em valores de UR podem afetar de forma considerável o desempenho de uma atividade agrícola, quer seja vegetal, quer seja animal, determinando o modo como é feito seu manejo. Tendo como exemplo o manejo da irrigação, a base para quantificar a água a ser aplicada a um determinado cultivo está comumente associada à capacidade com que a superfície do solo e da vegetação possuem de perder água para a atmosfera (SILVA et al., 2011). Em termos dos animais, em países tropicais, o maior problema em gado leiteiro é a eliminação de calor do corpo para o ambiente; todavia, esse fator não está ligado somente à alta UR, mas também está associado a altas temperaturas e baixo movimento do ar (SILVA, 2013).

Portanto, assim como a UR, a T possui importância fundamental em todo o processo produtivo agrícola, pois atua de modo incisivo nas condições da flora e da fauna nas diferentes regiões do mundo. Nas atividades agrônômicas, a T máxima do ar exerce influência bioclimática ao longo do ano, tanto no crescimento (tamanho) como no desenvolvimento (estádio) das plantas (VIRGENS FILHO, 2013). No caso de animais, pode-se citar como exemplo a influência da T na emissão de ruídos por leitões, quando submetidos a diferentes condições térmicas. Nesse caso, quanto maior a T, menor a emissão de ruído por esses animais (SILVA-MIRANDA, 2012).

Assim sendo, é notória a importância do monitoramento e manejo do ambiente de produção, em termos de T e UR, e a busca pela automação de seu controle no ambiente trata-se de uma ferramenta importante que poderá resultar em um aumento da qualidade dos produtos, maior eficiência e uso racional dos recursos (ROMANINI, 2010).

Dentre as alternativas para o monitoramento dessas variáveis, estão os sistemas de aquisição de dados (SAD). Um SAD pode ser desenvolvido a partir de um projeto de circuito eletrônico ou adquirido comercialmente na forma de diferentes dispositivos de diversos fabricantes. Como exemplo de SADs comerciais, têm-se as unidades de aquisição de dados (AGILENT TECHNOLOGIES, 2012) e os SADs mais compactos, denominados *dataloggers* (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2011). Assim, muitos SADs têm sido desenvolvidos com as mais diversas finalidades (SILVEIRA et al., 2011; ROSIEK, BATLLES, 2008; MAHJoubi, MECHLOUCH, BRAHIM, 2012). SILVEIRA et al. (2011) desenvolveram um SAD baseado em um microcontrolador embarcado, para monitorar T e UR do ar que atravessava uma amostra de solo, bem como a variação da pressão do ar, a fim de se determinar a permeabilidade ao ar desse meio poroso. Foram utilizados no circuito dois sensores de T, dois de UR e um de pressão, e o circuito é ligado a um computador pessoal (PC) via cabo com conexão RS232. Um software no PC desenvolvido em Delphi fazia a leitura dos sensores a cada segundo, e ao fim obtinha-se o valor da permeabilidade ao ar, e foi observado que a medição realizada em uma amostra de solo com estrutura indeformada de um Latossolo Vermelho foi tão precisa quanto à da amostra-padrão (SILVEIRA et al., 2011).

Numa abordagem mais simples, COCOTA JÚNIOR (2006) desenvolveu um SAD para monitorar T e UR do ar ambiente. O SAD desenvolvido trata-se de um medidor digital de T de bulbo seco e UR a partir de sensores com saídas lineares, ligados a conversores analógico-digital (A/D). Os conversores A/D são ligados diretamente na porta paralela de um PC. Por utilizar um PC em sua construção, o SAD desenvolvido apresentou-se pouco portátil (dependendo de sua aplicação); no entanto, a mesma arquitetura básica pode ser utilizada para sistemas mais compactos.

Assim sendo, a presente pesquisa traz como objetivo o desenvolvimento de um SAD compacto, de construção simples, na forma de um *datalogger*, para monitoramento da T e UR do ar, confeccionado a partir de circuitos embarcados prontos para uso, facilmente encontrados no

mercado. Buscou-se avaliar o desempenho do SAD comparando-se os dados coletados com os dados registrados por uma estação meteorológica convencional (EMC) e uma estação meteorológica automatizada (EMA).

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em duas etapas: Etapa 1: projeto e montagem do circuito eletrônico do SAD, programação de seus componentes e testes iniciais. Etapa 2: instalação do SAD próximo a duas estações meteorológicas (convencional (EMC) e automática (EMA)), para fins de comparação dos dados registrados no mesmo período, entre o SAD e a EMC e EMA. Tais estações situam-se na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, Piracicaba - SP, a uma altitude de 546/m, com latitude 22° 42' 30" sul e longitude 47° 38' 00" oeste. Os dados utilizados para as análises foram coletados durante o período de 03-08-2009 a 05-10-2009.

### Descrição do SAD

O circuito do SAD, desenvolvido no trabalho, é composto por: a) dois sensores (um para medir UR e o outro T); b) microcontrolador com um *software* embarcado; c) dispositivo para gravação de dados em memória *flash drive* removível USB; d) amplificador para o sensor de temperatura; e) gerador de base de tempo e regulador de tensão. Também fez parte do SAD um *software*, o qual foi instalado em um computador (PC), para leitura da memória *flash* e apresentação dos dados, após o período de monitoramento (Figura 1).

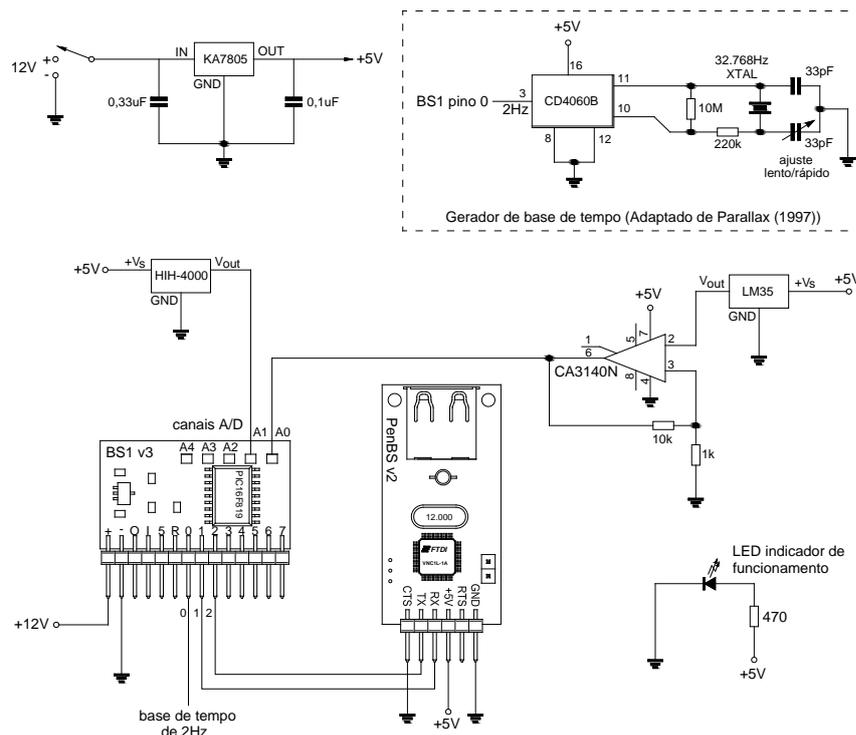


FIGURA 1. Diagrama esquemático completo do circuito eletrônico do SAD. **Complete DAS electronic circuit schematic diagram.**

### Sensores

Para medir a T do ar, empregou-se o sensor de temperatura LM35 (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000) e para a UR do ar, o sensor capacitivo HIH-4000 (HONEYWELL, 2008). Esses sensores possuem a vantagem de apresentar saída linear (ou seja, dispensam circuito linearizador), além de serem calibrados previamente pelo fabricante, o que dispensa sua calibração, permitindo economia de tempo no desenvolvimento da pesquisa, conforme também utilizado por SILVEIRA (2012) e COCOTA JÚNIOR (2006). Os sensores foram fixados dentro de cilindros

vazados para ficarem protegidos da ação das intempéries (Figura 2A) e foram conectados ao circuito do SAD por cabos blindados (Figura 2B).



FIGURA 2. (a) sensores de T e UR em cilindros vazados de proteção; (b) aspecto final do circuito do SAD montado em caixa plástica. (a) **Temperature and Relative Humidity sensors in protective leaked cylinder**, (b) **final aspect of DAS circuit mounted in a plastic box**.

Como o sensor HIH-4000 apresentava uma faixa de saída compatível com a entrada do conversor A/D do microcontrolador (0 a 5V), não foi necessária uma amplificação. Já para o sensor LM35, que apresenta uma saída de  $0\text{mV} + 10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000), foi necessário um circuito amplificador. Para tal, foi empregado um amplificador operacional (AmpOp) CA3140N e dois resistores, de modo a fornecer um ganho de aproximadamente 11 vezes, possibilitando assim leituras de temperaturas entre  $0^{\circ}\text{C}$  (0V) até  $45^{\circ}\text{C}$  (~5V).

### Microcontrolador embarcado

O microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ) é responsável por comandar todas as tarefas do SAD, por meio de um *software*. Nesse caso, utilizou-se o  $\mu\text{C}$  embarcado *Basic Step 1* (versão 3) da Tato Equipamentos Eletrônicos (ANGNES, 2003), sendo este um dos modelos mais simples produzidos pela empresa. Esse  $\mu\text{C}$  é compatível com os tradicionais  $\mu\text{C}$ s “*Basic Stamp*” da empresa norte-americana Parallax Inc., os quais possuem vasta documentação e exemplos de uso para as mais diversas aplicações.

O *Basic Step 1* (BS1) v3 é uma pequena placa de circuito com um  $\mu\text{C}$  PIC16F819 da Microchip Technology (MICROCHIP TECHNOLOGY, 2004). O  $\mu\text{C}$  é customizado pela Tato, possuindo um interpretador PBASIC, uma versão simplificada da linguagem Basic. É diretamente programável pela porta serial de um PC, bastando conectá-lo com um cabo e então utilizar o *software* compilador da Tato. Possui 256 bytes de EEPROM; 16 bytes de RAM; 5 conversores A/D de 10 bits; regulador de tensão de 5V e alimentação de 7,5V a 15V (MICROCHIP TECHNOLOGY, 2004; TATO EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS, 2013a). O circuito do BS1 foi alimentado com 12V por uma fonte de alimentação externa, mas também é possível a utilização de bateria, o que aumenta a autonomia e a segurança do sistema. Para a alimentação dos demais componentes, foi utilizado um regulador de tensão KA7805, regulando os 12V da entrada para 5V (Figura 1). A fim de se obter uma boa exatidão na contagem do tempo pelo SAD, mesmo em períodos maiores, tornou-se indispensável um gerador de base de tempo. O circuito utilizado é descrito em PARALLAX (1997) e emprega componentes de baixo custo (verificar Figura 1).

### Interface USB

A fim de armazenar os dados coletados por uma unidade de memória *flash drive* removível USB, empregou-se no circuito um dispositivo embarcado baseado no *chip* VNC1L da FTDI Ltd., que possui interface USB (FTDI, 2006). No Brasil, o dispositivo é comercializado pela Tato

Equipamentos Eletrônicos com o nome PenBS, e pode ser conectado a um  $\mu\text{C}$  via serial UART ou SPI (TATO EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS, 2013b). Para o circuito do SAD, empregou-se o PenBS v2. O *firmware* no VNC1L do PenBS habilita-o a receber comandos em modo texto pela porta serial. A principal função desse *firmware* é permitir que um dispositivo embarcado comunique-se via interface serial do VNC1L com dispositivos USB (FTDI, 2006). No circuito desenvolvido para o SAD (Figura 1), o PenBS fornece a interface entre o BS1 como controlador do sistema e uma memória *flash drive* USB, onde os dados são gravados em formato texto.

Antes de conectar o PenBS com o BS1, foi necessário fazer um pequeno ajuste, porque o *firmware* pré-compilado (que veio com o VNC1L do PenBS v2) trabalhava com uma taxa de transmissão-padrão de 9.600 bits por segundo (bps) no momento em que o PenBS é ligado. Isso fez com que não fosse possível a primeira comunicação entre esse dispositivo com o BS1 v3, que tem uma taxa de transmissão máxima de 2.400bps. Para buscar resolver esse impasse, foi feita uma reprogramação do VNC1L com um novo *firmware* customizado, programado para uma taxa de transmissão default de 2.400/bps. A customização do *firmware* pôde ser feita com o programa *Vinculum Firmware Customizer* (FTDI, 2007). Para gravar o novo *firmware* no PenBS, foi necessário conectá-lo à porta serial de um PC e utilizar o aplicativo VPROG (FTDI, 2006). A conexão serial foi feita utilizando-se de um circuito com um MAX232 (Figura 3) (MESSIAS, 2007).

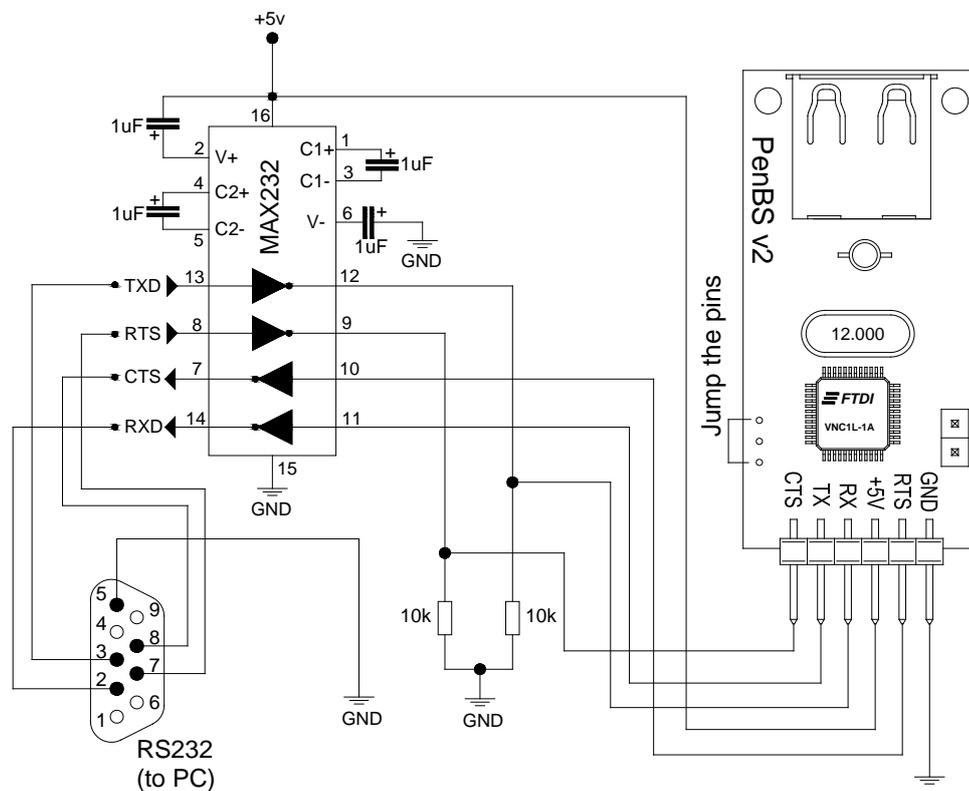


FIGURA 3. Esquema para reprogramação do módulo PenBS (adaptado de Messias (2007). **PenBS module reprogramming scheme (adapted from Messias, 2007).**

### Software embarcado

O *software* embarcado no BS1 (Figura 4) foi desenvolvido para fazer a leitura dos sensores periodicamente em um intervalo de tempo predefinido e enviar comandos para que o PenBS grave essas leituras em arquivo de texto na memória *flash*. Os dados são gravados na forma de números inteiros de 0 a 1023. Posteriormente, são convertidos em valores de T e UR no *software* do PC. A definição do intervalo de tempo (em minutos) e do número de sensores a serem lidos (1 a 5) é gravada na primeira linha do arquivo na memória *flash* antes de ser conectada ao SAD. Essa definição pode ser feita no próprio *software* do PC ou num editor de texto simples.

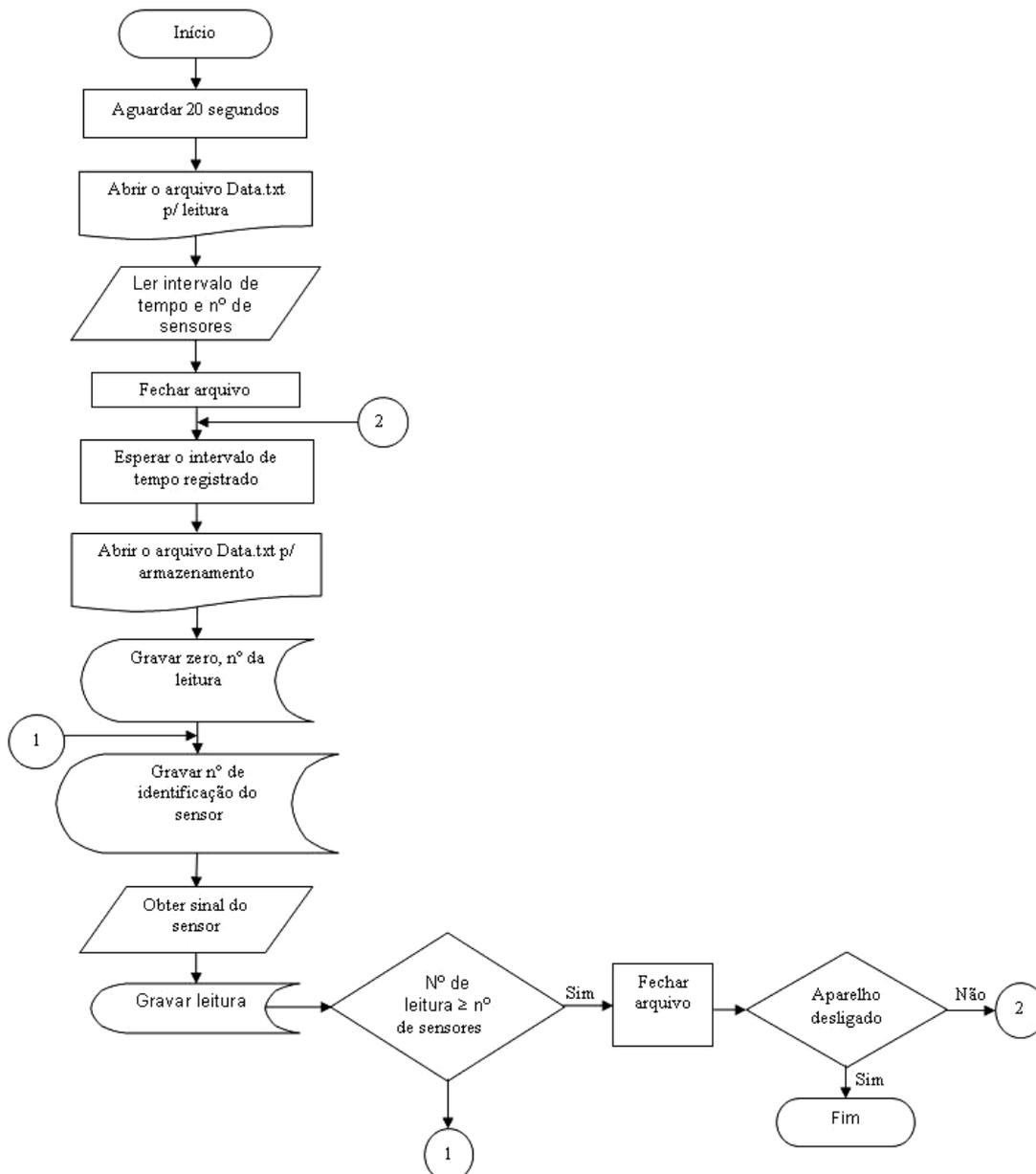


FIGURA 4. Fluxograma do software embarcado desenvolvido para o BS1. **Flowchart for BS1 embedded software.**

Um exemplo típico de arquivo de dados gravado na memória pode ser conferido pela Figura 5, onde cada linha é comentada (os comentários não fazem parte do arquivo gerado). Esse formato de arquivo visou à facilidade da posterior interpretação pelo software no PC.

```

015.002_---> intervalo de tempo (minutos).número de sensores
0      ---> início de nova leitura
1      ---> número da leitura (primeira leitura)
10     ---> identificação do sensor 1
627   ---> leitura digital do sensor 1
20    ---> identificação do sensor 2
190   ---> leitura digital do sensor 2
0     ---> início de nova leitura
2     ---> indica segunda leitura, e assim por diante
10
626
20
207
  
```

FIGURA 5. Típico arquivo de dados gravado na memória *flash*. **Typical data file saved in flash memory.**

## Software no PC para manuseio dos dados coletados

O software para a leitura dos dados coletados na memória *flash* foi desenvolvido na linguagem Visual Basic 6.0, e tem como função converter os dados digitais de 10 bits (valores de 0 a 1023) em leituras de T e UR, e exibir essas leituras numa planilha, tornando assim o processo mais “amigável” para o operador. Para as conversões, o programa fez uso das equações de calibração fornecidas pelos fabricantes (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000; HONEYWELL, 2008). Com o valor digital retornado pelo conversor A/D (ADC), é possível calcular a voltagem de saída de um sensor ( $V_{out}$ ) pela eq. 1:

$$V_{out} = \frac{ADC \cdot V_{ref}}{1024} \quad (1)$$

em que,

$V_{ref}$  = voltagem de referência aplicada no conversor A/D, no caso 5V e 1024 refere-se à resolução de 10 bits ( $2^{10}$ ) do conversor A/D.

Diante disso, para a obtenção dos valores de T, obtidos pelo respectivo sensor, utilizou-se da eq.2.

$$T(^{\circ}C) = \frac{100 \cdot V_{out}}{11} \quad (2)$$

A eq. 2 foi definida com base no ganho do amplificador (no caso, 11) e a relação 10°C/mV.

Para a obtenção dos valores de UR, obtidos pelo respectivo sensor, utilizou-se da eq.3 ((HONEYWELL, 2008):

$$UR(\%) = \frac{V_{out} - 0,958}{0,0307} \quad (3)$$

A tela principal do *software* desenvolvido pode ser conferida pela Figura 6.

Leituras	Tempo	S1 - T (°C)	S2 - Rad. (W/m2)	S3 - UR (%)
1	14:20	26,66	15,19	45,69
2	14:35	27,15	11,43	45,53
3	14:50	27,28	15,05	45,85
4	15:05	27,55	12,45	45,37
5	15:20	27,59	16,24	42,35
6	15:35	27,41	15,48	43,78
7	15:50	27,59	15,48	39,00
8	16:05	27,64	15,05	37,09
9	16:20	27,55	14,91	36,30
10	16:35	27,64	14,49	38,05
11	16:50	27,64	14,22	39,32
12	17:05	27,68	13,30	34,71
13	17:20	27,73	12,93	34,86
14	17:35	27,77	12,57	37,25
15	17:50	27,77	11,65	34,07
16	18:05	27,77	11,22	36,30

FIGURA 6. Tela do *software* desenvolvido para aplicar as equações de calibração nos dados de temperatura e umidade relativa do ar. **Screen shot of the software used to apply the calibration equations for temperature and relative humidity data.**

## Análise dos dados coletados em campo pelo SAD

Os dados foram coletados em um intervalo de tempo de 15 minutos, de modo sincronizado com as leituras da estação meteorológica automática (EMA), servindo como padrão para comparação dos valores de T e UR coletados pelo SAD.

Em outra análise, os dados médios diários da estação meteorológica convencional (EMC) foram utilizados como padrão; neste caso (a título de comparação), foram calculadas as médias diárias dos dados coletados pelo SAD (eq. 4).

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n D(i)}{N} \quad (4)$$

em que,

M = média diária dos valores de T (°C) e UR (%);

D(i) = valores de T (°C) e UR (%), registrados em função do intervalo de tempo para coleta, durante o prazo de um dia, coletados pelo SAD, e

N = número de medidas realizadas no prazo de um dia, em função do intervalo de tempo para coleta.

As análises dos dados foram realizadas por dois métodos: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio (eq. 5).

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A(i) - D(i))^2}{N}} \quad (5)$$

em que,

E = erro médio;

A(i) = valores padrões de T (°C) e UR (%), registrados em função do intervalo de tempo para coleta;

D(i) = valores coletados pelo SAD de T (°C) e UR (%), registrados em função do intervalo de tempo para coleta, e

N = número de dados analisados no período.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados pelo SAD foram avaliados em diversos momentos de modo a conferir o desempenho do equipamento em armazenar os dados sem interferir no valor do sinal emitido pelo sensor, com um intervalo de tempo adequado. Buscando-se averiguar também se não apresentaria falhas ao longo do processo.

A seguir, serão discutidos os valores obtidos em relação aos dados registrados de T (°C) e UR (%), quando comparados com os dados coletados por uma estação meteorológica convencional (EMC) e uma estação meteorológica automatizada (EMA).

### Estimativa de erro dos dados registrados de T

Comparando-se os dados registrados pela EMA (Padrão) com os dados coletados pelo SAD, observou-se uma correlação satisfatória apresentando um erro médio de 2,23°C e um  $R^2$  igual a 0,8246 (Figura 7A). Quando comparado com os dados coletados pela EMC (Padrão), foi observado um melhor  $R^2$  médio superior ao observado em relação à EMA. O valor do coeficiente de determinação foi de 0,8986, e o erro médio, de 0,9053°C, demonstrando um desempenho satisfatório do SAD (Figura 7B).

Considerando que o valor médio dos dados registrados pela EMA foi de 20,3°C, o erro médio encontrado correspondeu a uma superestimativa de 10,98% do valor de T. Nesse caso, foi possível notar uma diferença entre as medidas dos sensores, a qual foi evidenciada quando foram comparadas as duas séries de T em função do tempo (Figura 8A).

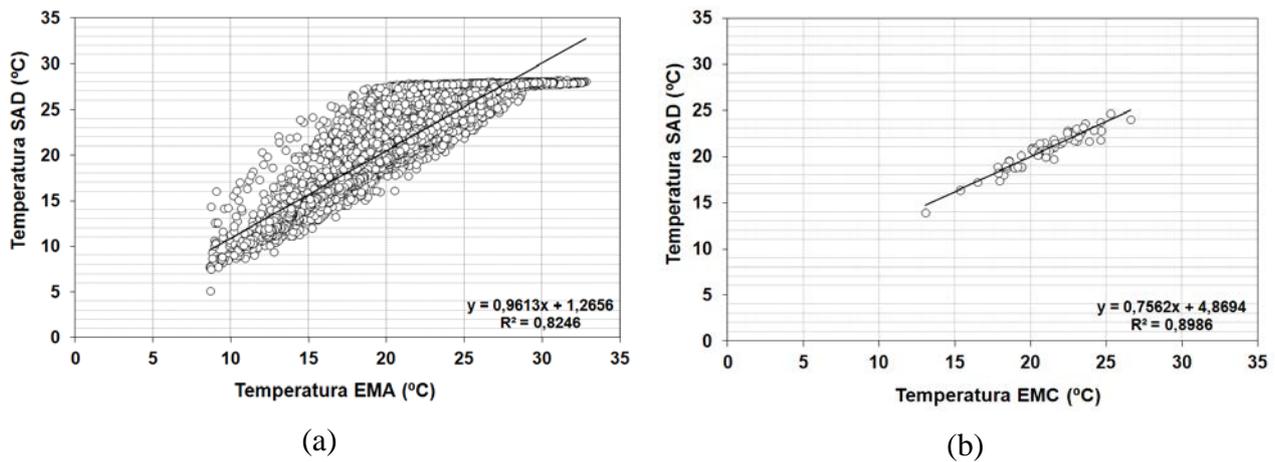


FIGURA 7. (a) Valores de T (°C) coletados pelo SAD quando comparados com os valores coletados pela EMA (Padrão), (b) Valores de T (°C) coletados pelo SAD quando comparados com os valores coletados pela EMC (Padrão). **(a) Temperature data (°C) collected by the DAS when compared to AWS (Default), (b) DAS data of T (°C) compared with CWS (Standard).**

Pôde-se notar que as leituras de temperatura registradas pelo SAD tiveram um valor máximo registrado por volta de 28°C. Isso foi devido a uma falha no circuito amplificador projetado para o sensor LM35 e cuja forma de corrigi-la é a substituição do amplificador (AmpOp CA3140 (convencional)) por um amplificador (AmpOp linha a linha (*rail-to-rail*)), tal como utilizado por SILVEIRA (2012).

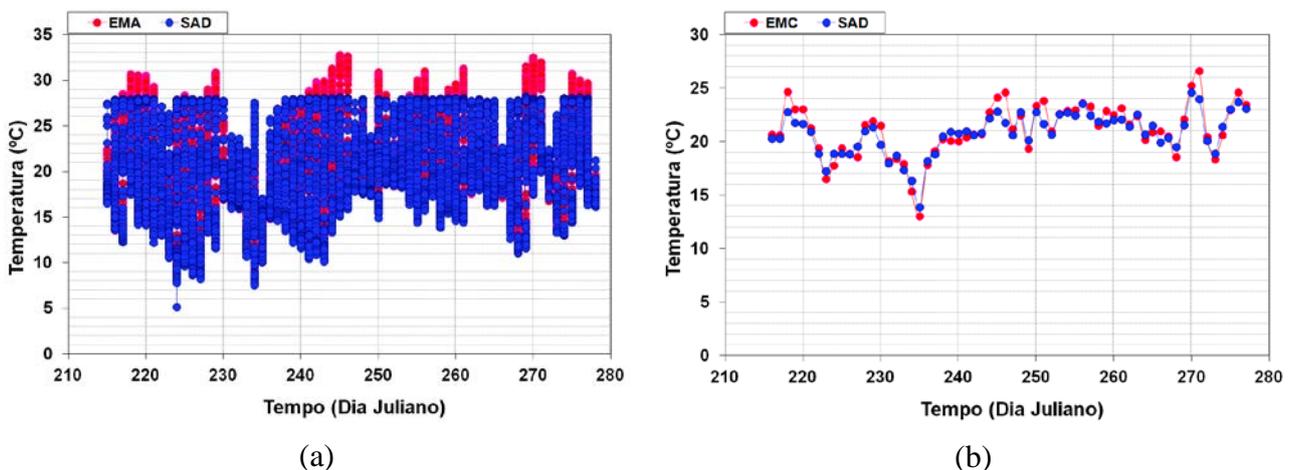


FIGURA 8. (a) Valores de T (°C) coletados pelo SAD comparados com os valores coletados pela EMA (Padrão), (b) Valores de T (°C) coletados pelo SAD comparados com os valores coletados pela EMC (Padrão), ambos em função do tempo em dias juliano (DJ). **(a) Comparison of DAS and AWS time series for T (°C), (b) Comparison of DAS and CWS time series for T (°C).**

Outra fonte de erro para o LM35 foi a possível capacitância elevada do cabo blindado de conexão, que depende de seu comprimento. Isso pode gerar oscilações nas leituras, tornando-as incorretas. A solução é utilizar um circuito R-C (resistor-capacitor) junto ao LM35 (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000; Silveira, 2012) (Figura 9).



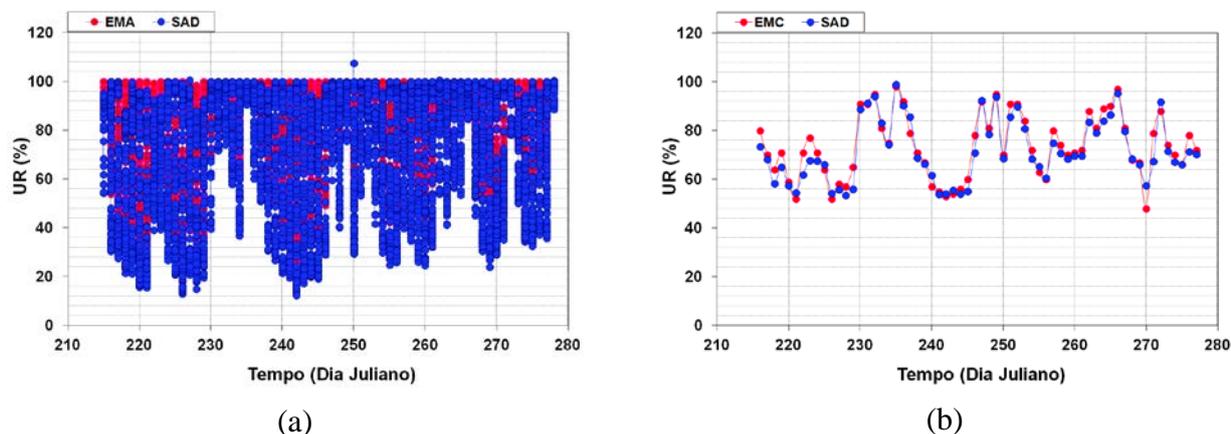


FIGURA 11. (a) Valores de UR (%) coletados pelo SAD, comparados com os valores coletados pela EMA (Padrão), (b) Valores de UR (%) coletados pelo SAD, comparados com os valores coletados pela EMC (Padrão), ambos em função do tempo em dias julianos (DJ). **(a) Comparison of DAS and AWS time series for RH (%) (b) Comparison of DAS and CWS time series for RH (%).**

Pode-se afirmar que a coleta de dados por meio do sensor HIH 4000 apresentou valores de UR confiáveis, uma vez que houve uma concordância entre os valores coletados e os valores padrões (EMC e EMA).

ROSIEK & BATLLES (2008), comparando dados meteorológicos obtidos por SADs comerciais com aqueles obtidos por um SAD desenvolvido com componentes eletrônicos, também obtiveram resultados aceitáveis e sugerem que a resolução do SAD é o fator de influência essencial para o erro quadrático médio.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pôde se concluir que:

- a) O SAD apresentou desempenho compatível com os equipamentos nele utilizados, mostrando-se aplicável para a coleta e armazenamento de dados de T e UR, quando comparado com os registros efetuados pela EMA e EMC.
- b) Os erros apresentados não foram significativos ao ponto de prejudicar a confiabilidade dos dados coletados.
- c) Devido à simplicidade de montagem e programação, o SAD pode ser construído até mesmo por iniciantes, sendo útil em aplicações por longos períodos (recomenda-se a utilização de uma bateria para evitar que interrupções no fornecimento de energia possam prejudicar a coleta dos dados) e onde não haja necessidade de leitura instantânea dos dados.
- d) O dispositivo desenvolvido possui certa flexibilidade, podendo ser adaptado para utilização em outros ambientes ou com tipos e números diferentes de sensores.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

## REFERÊNCIAS

ANGNES, D.L. *Introdução ao microcontrolador BASIC Step*. Tato Equipamentos Eletrônicos. 2003. Disponível em: <<http://www.tato.ind.br/files/Microcontroladores%20BASIC%20Step1.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2011

- AGILENT TECHNOLOGIES. Agilent 34970A Data Acquisition/ Switch Unit Family : Product Overview , 34970A , 34972A . 2012 Disponível em: <<http://www.newark.com/agilent-technologies/34970a/data-acquisition-250-ch-sec-22/dp/83F4190>>. Acesso em: 27 out. 2013.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. CR200/CR200X Series Dataloggers: Operator's Manual. 2011 Disponível em: <<http://www.campbellsci.com/manuals>>. Acesso em: 27 out. 2013
- COCOTA JÚNIOR , J. A. N. Leitura de temperatura e umidade pelo logo, Mecatrônica Fácil, São Paulo n. 27. p. 22-27, 2006. Disponível em: <<http://www.cocotajr.cjb.net/Trabalhos.htm>>. Acesso em: 28 out. 2013.
- FTDI - Future Technology Devices International, V DAP - Vinculum VNC1L Disk and Peripheral Interface Firmware Datasheet. 2006. Version 1.07.
- FTDI. VPROG VNC1L Reflasher application manual. v. 1.0. 2006. Disponível em: <<http://www.compsys1.com/support/vnc1/VPROG.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2014
- FTDI. Vinculum Firmware Tools User Manual, Version: 1.0. 2007. Disponível em: <<http://www.ftdichip.com/Firmware/Precompiled/Vinculum%20Firmware%20Tools%20User%20Manual%20V1.0%20Rev%203.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2014
- HONEYWELL. HIH-4000 series humidity sensors. 2008. Disponível em: <[http://sensing.honeywell.com/index.cfm/ci\\_id/140570/la\\_id/1/document/1/re\\_id/0](http://sensing.honeywell.com/index.cfm/ci_id/140570/la_id/1/document/1/re_id/0)>. Acesso em 21 nov. 2008.
- MAHJOUBI A.; MECHLOUCH R. F.; BRAHIM A. B. Data acquisition system for photovoltaic water pumping system in the desert of Tunisia. *Procedia Engineering*, Netherlands, v. 33, p 268-277, 2012.
- MESSIAS, A.R. Conectando um pen-drive a um microcontrolador - Projeto Estação Pen-drive. ROGERCOM. 2007. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/Microcontrolador/Pag02.htm>>. Acesso em: 24 jun. 2009.
- MICROCHIP TECHNOLOGY. PIC16F818/819 datasheet. 2004. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/cn/DeviceDoc/39598e.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2013.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR. *LM35 precision centigrade temperature sensors*. 2000. Disponível em: <<http://cache.national.com/ds/LM/LM35.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2008.
- PALMIERI, A.M. *Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola*. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de concentração Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- PARALLAX. *BASIC Stamp Programming Manual* 1.8. 1997. 454 p.
- ROMANINI, C. E. B. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.11, p. 1194-1201, 2010.
- ROSIEK S., BATLLES F.J. A microcontroller-based data-acquisition system for meteorological station monitoring, *Energy Conversion and Management*, Oxford, v. 49, n.12, p. 3746-3754, 2008.
- SILVA, A. C. DA; LIMA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MARTINS, C. P. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, p.1215-1221, 2011.
- SILVA, I. M.; PANDORFI, H.; VASCONCELOS, A.J. S.; LAURENTI, R.; GUISELINI, C. Low cost driver device for microclimate maintenance in the pre-milking of dairy cattle. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, vol.33, n.1, pp. 01-10, 2013.

SILVA-MIRANDA, K.O.; BORGES, G.; MENEGALE, V.L.C.; SILVA, I.J.O. Efeito das condições ambientais no nível de ruído emitido por leitões. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, vol.32, n.3, pp. 435-445, 2012.

SILVEIRA, L.R. *Sistema de aquisição de dados utilizando telemetria: aplicação em secador solar de produtos agrícolas*. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de concentração Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SILVEIRA, L.R.; BRITO, A.S.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Sistema de aquisição de dados para equipamento de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 429-436, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n2/v35n2a12.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2013.

TATO EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS. Disponível em: <[http://www.tato.ind.br/detalhe\\_produto.php?codigo\\_chave=43](http://www.tato.ind.br/detalhe_produto.php?codigo_chave=43)>. Acesso em: 27 out. 2013.

VIRGENS FILHO, J.S.; OLIVEIRA, R.B.I.; LEITE, M.L.; TSUKAHARA, R.Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA\_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.3. p. 538-547, 2013.