

AVALIAÇÃO DE CIRCUITO ELETRÔNICO PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA EM INSTALAÇÕES AGRÍCOLAS POR MEIO DA PORTA PARALELA DE UM COMPUTADOR

ANTONIO J. STEIDLE NETO¹, SÉRGIO ZOLNIER²

RESUMO: Os sistemas de aquisição de dados de temperatura disponíveis comercialmente apresentam alto custo e grande complexidade operacional para a sua utilização em instalações agrícolas climatizadas. Este trabalho teve por objetivos propor, calibrar e validar um circuito eletrônico de baixo custo para a aquisição de dados de temperatura com base na frequência de oscilação da tensão elétrica (0 a 5 V). O sensor empregado no circuito foi um termistor com resistência ômica de 10 k Ω a 25 °C e coeficiente de temperatura negativo. O circuito eletrônico, conectado a um computador via porta paralela, foi calibrado por comparação com um termômetro-padrão de mercúrio em vidro. Após as medições, análises de regressão foram realizadas com os dados experimentais, gerando-se equações que relacionam frequência com resistência e resistência com temperatura. Os coeficientes de determinação demonstraram excelentes correlações entre as variáveis ($R^2 > 0,9999$). Posteriormente, foram realizadas comparações entre as medições obtidas com o circuito eletrônico e dois sistemas convencionais de aquisição de dados. Os resultados demonstraram que o circuito proposto é capaz de medir com exatidão e precisão a temperatura na faixa de 10 a 40 °C.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas de aquisição de dados, sensores de temperatura, instrumentação.

EVALUATION OF AN ELECTRONIC CIRCUIT FOR TEMPERATURE MEASUREMENT IN AGRICULTURAL BUILDINGS USING THE PC'S PARALLEL PORT

ABSTRACT: The temperature data acquisition systems available commercially present high costs and operational complexity to be applied in environment controlled agricultural buildings. The objective of this work was to propose, calibrate and validate a low cost electronic circuit for measuring temperature based on the frequency of an alternating voltage (0 to 5 V). The sensor connected to the circuit was a thermistor with resistance of 10 k Ω at 25 °C and negative temperature coefficient. The electronic circuit was connected to a computer using the parallel port and calibration was performed by comparing the thermistor to a standard liquid-in-glass thermometer. Regression analyses were performed on experimental data to obtain equations relating the frequency variation to resistance and resistance to temperature. The coefficients of determination showed excellent correlation among the variables ($R^2 > 0.9999$). Comparisons of the measurements obtained with the electronic circuit and two conventional data acquisition systems were carried out. The results demonstrated that the proposed circuit is capable to measure temperatures from 10 to 40 °C with precision and accuracy.

KEYWORDS: data acquisition systems, temperature sensors, instrumentation.

¹ Eng^o Agrícola, Doutorando em Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Fone: (0XX31) 3899.1891, steidle@vicosa.ufv.br

² Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG, zolnier@ufv.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 28-2-2005

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 3-4-2006

INTRODUÇÃO

A medição de temperatura é fundamental em quase todos os ramos do conhecimento humano devido à sua influência na maioria dos processos físicos, químicos e biológicos. Nas instalações agrícolas, onde são realizadas atividades como criação de animais e o cultivo de plantas e de cogumelos, a temperatura é a variável de maior importância na caracterização do ambiente meteorológico. Portanto, quando os processos necessitam ser otimizados, sistemas de medição e controle devem ser empregados para manter a temperatura dentro de limites específicos.

De acordo com McGHEE et al. (1999), os sensores de temperatura permitem quantificar as transferências de calor entre os corpos de interesse e o ambiente circundante. Os fenômenos básicos que regem o princípio de funcionamento dos sensores de temperatura são: expansão ou contração térmica de líquidos ou sólidos, termoeletricidade, resistividade elétrica e radiação. Para fins de monitoramento automático de temperatura, os sensores mais adequados são os que possuem saídas elétricas (tensão ou corrente) na forma de sinais analógicos ou digitais, pois possibilitam a sua conexão a um sistema de aquisição de dados.

Os sistemas de aquisição de dados são constituídos por condicionadores de sinais, conversores analógicos/digitais, interface de comunicação para a transferência das informações digitais e programa computacional de gerenciamento e processamento de dados (TAYLOR, 1997).

Os condicionadores de sinais são circuitos eletrônicos que adaptam os sinais analógicos para a conversão digital. Já os conversores analógicos/digitais têm a função de traduzir os sinais analógicos dos sensores em sinais digitais no formato binário (LYNX, 2004). Após essa conversão, as informações são transferidas para um computador e/ou armazenadas em unidades de disco rígido ou flexível por meio de interfaces de comunicação de acordo com protocolos específicos. Dentre as principais interfaces de comunicação, destacam-se as seriais (RS-232, RS-422, RS-485 e USB) e a paralela (normalmente utilizada pela impressora).

Os sistemas de aquisição de dados que não são adequadamente calibrados, podem se constituir em grandes fontes de erro, registrando e armazenando informações inexatas, ou seja, que não correspondem à realidade. Similarmente aos sistemas de aquisição de dados, os sensores de temperatura também são afetados por fatores ambientais, como temperatura de armazenamento, umidade do ar, vibrações e campos eletromagnéticos (FRADEN, 1996). FLORES & BOYLE (2000) ressaltam a importância da calibração periódica de sensores de temperatura a fim de assegurar medidas exatas.

Sistemas de aquisição de dados que realizam medições simultâneas de temperatura do ar, temperatura da superfície do dossel vegetativo, umidade relativa do ar, velocidade do ar, radiação solar e radiação fotossinteticamente ativa, têm sido utilizados em pesquisas relacionadas com a otimização das técnicas de resfriamento evaporativo para a propagação vegetativa de plantas e estimativa da evapotranspiração em cultivos hidropônicos sob ambiente protegido (ZOLNIER et al., 2001; ZOLNIER et al., 2003; ZOLNIER et al., 2004). Por outro lado, técnicas alternativas são usadas para medir a umidade relativa do ar a partir do monitoramento da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido com termopares (MARIN et al., 2001; TURCO & FERNANDES, 2003). Portanto, já é de domínio público a tecnologia e o conhecimento para implementação de sistemas complexos de aquisição de dados, mas há demanda pela utilização de métodos alternativos e de maior simplicidade para a medição automática de dados do ambiente.

Devido à complexidade, necessidade de calibração e custo do processo automático de coleta de dados, muitos pesquisadores e estudantes dos cursos de graduação e de pós-graduação encontram dificuldades para a utilização de técnicas avançadas de monitoramento do ambiente. Apesar do grande desenvolvimento da eletrônica, muitas pesquisas ainda são realizadas por meio de medições instantâneas de temperatura com termômetros de mercúrio em vidro. Essa técnica é extremamente exaustiva e limita drasticamente o acompanhamento em tempo real das variações de temperatura no interior das instalações agrícolas.

O presente trabalho teve por objetivos propor, calibrar e validar um circuito eletrônico de baixo custo para a aquisição de dados de temperatura, utilizando a porta paralela de um computador, visando a sua aplicação no monitoramento automático do ambiente em instalações agrícolas. Essa técnica consiste na medição da frequência de oscilação da tensão elétrica (0 a 5 V), de acordo com a variação de temperatura nas imediações de um termistor, dispensando, assim, a utilização de sistemas convencionais de aquisição de dados baseados em conversores analógicos/digitais. O circuito eletrônico e as equações de calibração apresentadas neste trabalho foram patenteados junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) sob o número PI0502492-7.

MATERIAL E MÉTODOS

O circuito para aquisição de dados de temperatura, constituído por 6 componentes eletrônicos simples, foi montado em uma placa fenólica (Figura 1). O custo total, considerando os componentes eletrônicos do circuito e o sensor de temperatura, foi de R\$ 6,50, aproximadamente. Quando alimentado por uma fonte de tensão em corrente contínua (não inclusa no custo total), obteve-se, nos terminais de saída do circuito, um sinal alternado, cuja frequência de oscilação medida foi relacionada ao valor ôhmico verdadeiro de um dos resistores do circuito. Dessa maneira, fez-se um estudo preliminar a fim de estabelecer a relação entre frequência e resistência, pesquisando como a variação do valor do resistor afeta a frequência medida nos terminais de saída do circuito. Essa relação foi estabelecida mediante a substituição do resistor de valor fixo do circuito por outros de valores ôhmicos conhecidos e medindo-se, individualmente, a frequência associada.

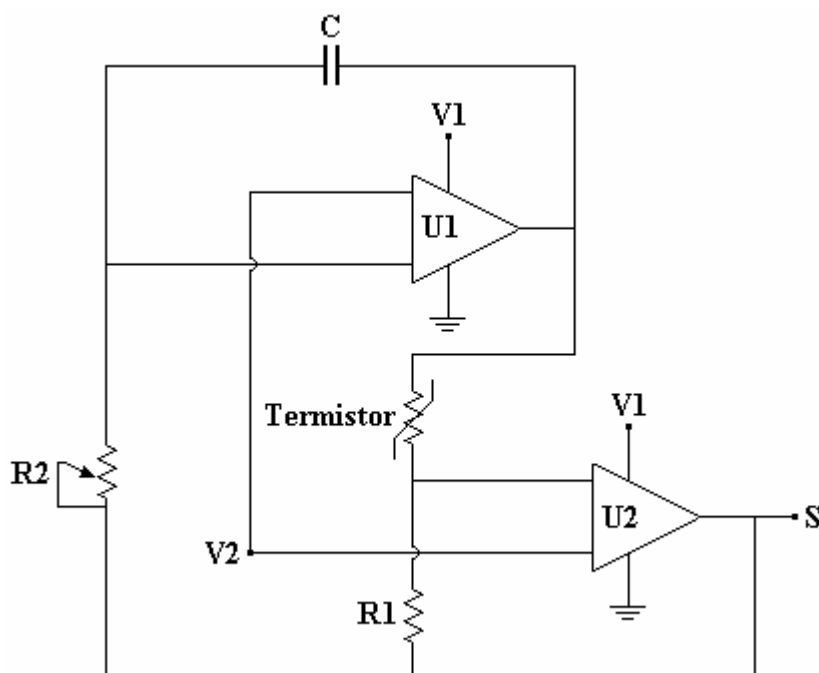


FIGURA 1. Diagrama eletrônico do circuito de medição de temperatura.

Medição da resistência elétrica

Inicialmente, determinaram-se os valores ôhmicos verdadeiros dos resistores a serem utilizados para a obtenção da referida relação. Assim, foram adquiridos resistores de precisão (exatidão de $\pm 1\%$ sobre o valor nominal) com valores ôhmicos nominais, variando de 5.000 a 20.000 Ω , totalizando 17 pontos. O equipamento empregado na medição do valor ôhmico verdadeiro de cada resistor foi a Ponte de Thomson (modelo YTW, fabricada pela Ganz) que possibilita a determinação do valor ôhmico exato de resistores, com resolução de uma casa decimal. Além da ponte, foram necessários um galvanômetro analógico calibrado (fabricado pela Fisher Scientific) e uma fonte de tensão regulável (corrente contínua). Nas medidas de resistência efetuadas com a

Ponte de Thomson, os efeitos causados pelas resistências de contato, assim como dos cabos de conexão usados no circuito a ser medido, são eliminados.

De maneira sucinta, a medição consiste em comparar a resistência a ser medida com outra resistência cujo valor é determinado pelo ajuste de 5 décadas de resistência reguláveis e de magnitudes distintas, até que o galvanômetro conectado à ponte não indique a presença de corrente.

Aquisição de dados de frequência

A conexão do circuito eletrônico ao computador foi feita via porta paralela. Apesar de essa interface de comunicação ter sido desenvolvida para conectar periféricos, como impressoras ou “scanners” a computadores, ela pode ser utilizada para enviar ou receber informações de outros equipamentos (AXELSON, 1996). O conector DB25 da porta paralela é formado por 25 pinos, dentre os quais, cinco pinos podem ser utilizados para receber e 12 pinos para enviar dados, com base nos níveis lógicos alto e baixo, padrão TTL (Transistor Transistor Logic). Para o circuito proposto, como era desejado medir a frequência do sinal nos terminais de saída, foi necessário apenas um dos cinco pinos disponíveis para a recepção de dados.

Um programa computacional foi desenvolvido para gerenciar a aquisição de dados de frequência, sendo implementado em linguagem C++, utilizando-se da plataforma de programação C++ Builder versão 5. A cada minuto, o programa calculou a razão entre o número de pulsos e o número de segundos, gerando valor médio de frequência em hertz. Com a finalidade de obter dados representativos, foram coletados 30 valores de frequência para cada um dos 17 resistores, calculando-se, posteriormente, a média aritmética de cada conjunto de valores.

A relação entre frequência e resistência foi obtida por meio de modelo de regressão com três parâmetros [eq.(1)].

$$F = \frac{a(\pm SE_a) + b(\pm SE_b)R}{1 + c(\pm SE_c)R} \quad (1)$$

em que,

F - frequência, Hz;

a, b, c - parâmetros da equação de regressão;

R - resistência, Ω , e

SE_i - desvio-padrão associado ao parâmetro i , $i = a, b, c$, decimal.

A equação de regressão resultante foi implementada no programa computacional, possibilitando obter valores de resistência calculados a partir dos dados de frequência medidos.

Calibração do circuito eletrônico

Um sensor de temperatura do tipo termistor foi utilizado em substituição ao resistor do circuito. Esse sensor possui resistência ômica de 10 k Ω a 25 °C e coeficiente de temperatura negativo (NTC), ou seja, sua resistividade elétrica diminui com o aumento da temperatura. A escolha desse tipo de sensor foi em função de o seu princípio de funcionamento ser resistivo, além de outras características, como baixo custo, alta sensibilidade (pequenas variações de temperatura implicam grandes mudanças na resistividade) e elevada exatidão.

Mediante a variação da resistividade elétrica do termistor com a temperatura, determinou-se uma segunda equação de regressão. Os dados necessários para essa regressão foram obtidos medindo-se, individualmente, a frequência (convertida em resistência pela eq.(1)) associada a cada valor de temperatura, na faixa de 10 a 40 °C, em processo de calibração por comparação com um termômetro-padrão de mercúrio em vidro. A calibração por comparação é o método mais usual para se ajustarem as medidas de sensores de temperatura aos valores reais (STEIDLE NETO, 2003).

O termômetro de referência utilizado neste trabalho foi calibrado segundo a norma SP 819, no laboratório da Companhia Vaisala, em Helsinque - Finlândia. Esse laboratório foi credenciado

pelo “National Institute of Standards and Technology” (NIST), conforme a norma de padronização ISO 25 & EN450001.

No processo de calibração realizado no presente trabalho, empregou-se um recipiente termicamente isolado contendo água, sendo que, na tampa desse, existiam dois orifícios circulares para a inserção do termistor e do termômetro-padrão. A fim de evitar o contato direto dos terminais do sensor com a água, o termistor foi encapsulado em um tubo cilíndrico de vidro com parede delgada e diâmetro aproximadamente igual ao do sensor. No presente trabalho, utilizaram-se três termistores, cujas características foram descritas anteriormente.

O modelo de regressão utilizado para estabelecer a relação entre resistência e temperatura foi o descrito por DeFELICE (1998) para sensores de temperatura do tipo termistor [eq.(2)]. A equação resultante foi posteriormente adicionada ao programa computacional.

$$R = R(T_{ref}) \exp[\beta(\pm SE_{\beta})(T^{-1} - T_{ref}^{-1})] \quad (2)$$

em que,

R - resistência, Ω ;

$R(T_{ref})$ - resistência à temperatura de referência, Ω ;

β - parâmetro da equação de regressão, K;

SE_{β} - desvio-padrão associado ao parâmetro β , decimal;

T - temperatura, K, e

T_{ref} - temperatura de referência, 298,16 K.

Validação do circuito eletrônico

Para a validação, foram utilizados um sensor de circuito integrado (modelo DS1820, faixa de medição de -55 a 125 °C e exatidão de $\pm 0,5$ °C, fabricado pela Dallas Semiconductor), um sensor de platina do tipo RTD (modelo Humitter 50Y, faixa de medição de -10 a 60 °C e exatidão de $\pm 0,7$ °C, fabricado pela Vaisala) e um termistor de 10 k Ω conectado ao circuito eletrônico (Figura 2). As medidas desses sensores foram comparadas às de um termômetro-padrão de mercúrio em vidro (escala nominal graduada de 0 a 50 °C). Os sensores DS1820 e Humitter 50Y foram conectados a sistemas seriais de aquisição de dados (RS-232). O circuito eletrônico foi validado considerando-se a mesma faixa de temperatura empregada na calibração, ou seja, de 10 a 40 °C. Para atender critérios estatísticos, a validação foi repetida três vezes, empregando-se, em cada repetição, conjuntos diferentes de sensores. A partir dos dados obtidos, foram gerados gráficos relacionando o termistor, o sensor DS1820 e o RTD (variáveis dependentes) ao termômetro-padrão (variável independente).

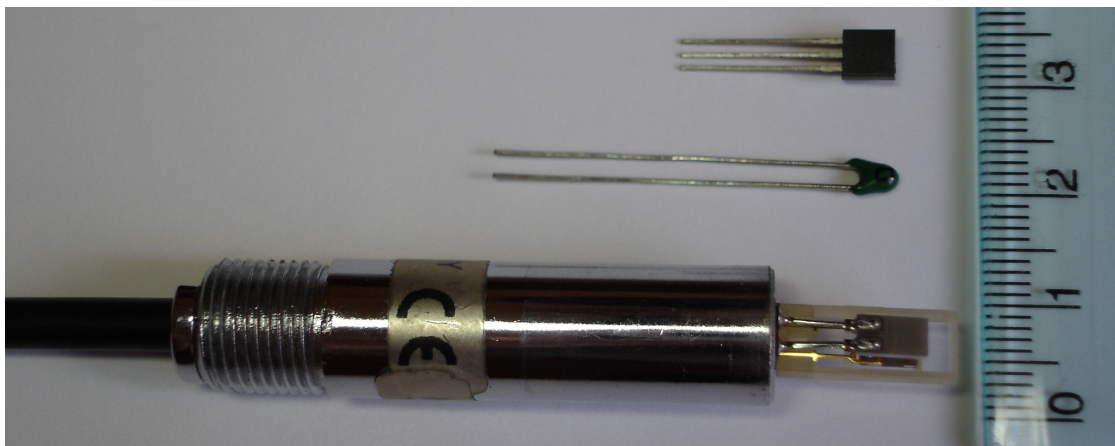


FIGURA 2. Sensor de temperatura DS1820 (superior), Humitter 50Y (inferior) e termistor de 10 k Ω (meio) usados no processo de validação do circuito eletrônico.

Para avaliar quantitativamente os desvios dos sensores de temperatura em relação ao termômetro-padrão, utilizou-se o índice de concordância de Willmott (WILLMOTT et al., 1985) e o erro absoluto médio descritos pelas eqs.(3) e (4), respectivamente.

$$CW = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y - x)^2}{\sum_{i=1}^n (|y - x| + |x - \bar{x}|)^2} \right] \quad (3)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |y - x|}{n} \quad (4)$$

em que,

CW - índice de concordância de Willmott, adimensional;

EAM - erro absoluto médio, °C;

x - temperatura medida por meio do termômetro-padrão de mercúrio em vidro, °C;

\bar{x} - média aritmética das temperaturas obtidas por meio do termômetro-padrão, °C;

y - temperatura medida por meio do termistor, sensor DS1820 e RTD, °C, e

n - número de dados de temperatura de cada sensor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico e a equação de regressão que relacionam freqüência e resistência são apresentados na Figura 3. Na Figura 4, apresentam-se os resultados correspondentes à regressão entre os valores de resistência e temperatura, obtidos a partir da calibração do circuito eletrônico.

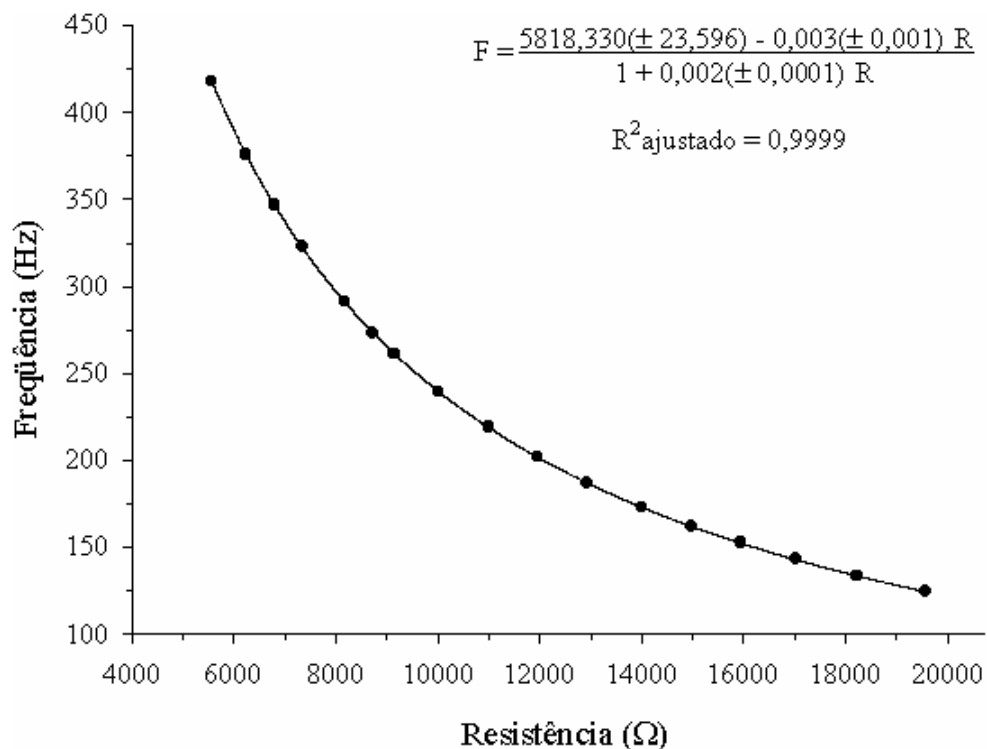


FIGURA 3. Freqüência (F) de oscilação da tensão elétrica em relação à variação da resistência (R), para aplicação em medições de temperatura entre 10 e 40 °C.

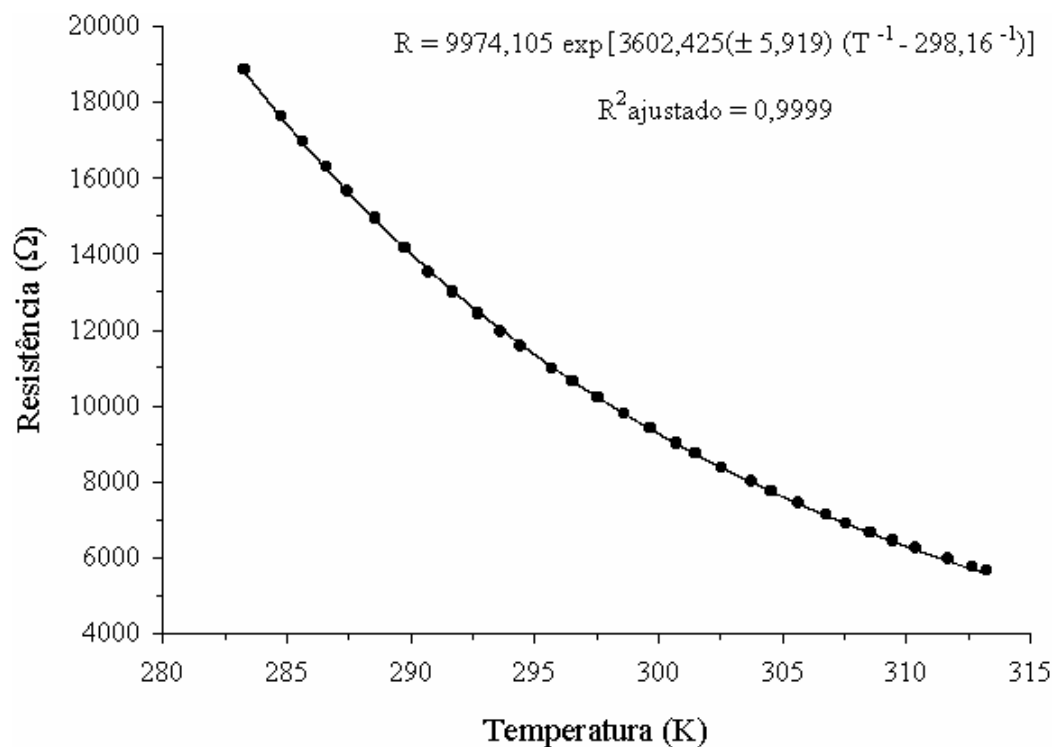


FIGURA 4. Efeito da temperatura (T) na resistência elétrica (R), com base em medições obtidas por meio do termistor de 10 kΩ.

De acordo com a Figura 3, à medida que a resistência aumenta, os valores de frequência tornam-se menores, seguindo comportamento exponencial decrescente.

Observando-se a Figura 4, verifica-se a diminuição da resistência elétrica com o aumento da temperatura. Esse comportamento já era esperado, visto que o termistor utilizado possui coeficiente de temperatura negativo. O parâmetro β da eq.(2) depende do material que constitui o termistor. Na equação apresentada na Figura 4, o valor de β (≈ 3602 K), obtido a partir da regressão, está próximo do indicado por WANG & FELTON (1983), que é de 4000 K para os termistores mais comuns.

Os coeficientes de determinação ajustados (R^2 ajustados), obtidos nas duas regressões anteriores (Figuras 3 e 4), foram superiores a 0,9999, demonstrando excelentes correlações entre as variáveis envolvidas nesta avaliação.

Embora a calibração e a validação do circuito eletrônico tenham sido conduzidas considerando-se a faixa de temperatura de 10 a 40 °C, esse sistema de aquisição de dados pode ser calibrado e validado para uma faixa de temperatura mais ampla, conforme as necessidades do usuário.

Os resultados da validação do circuito eletrônico são apresentados na Figura 5.

Na Tabela 1, apresentam-se os desvios dos sensores de temperatura (termistor, sensor DS1820 e RTD) em relação ao termômetro-padrão de mercúrio em vidro, obtidos por meio das eqs.(3) e (4).

Quanto menor for o erro absoluto médio (EAM), menor será o desvio do sensor em relação ao padrão. Para a concordância de Willmott (CW), quanto mais próximo de 1 (um) for esse índice, melhor será a exatidão do sensor de temperatura. Assim sendo, de acordo com a Tabela 1, o sensor que apresentou o menor desvio foi o RTD, seguido do termistor e do sensor DS1820. Apesar de os desvios nos valores de temperatura, obtidos com o circuito proposto (termistor), terem sido maiores que os do sensor de platina (RTD), esses foram inferiores aos desvios apresentados pelo sensor DS1820.

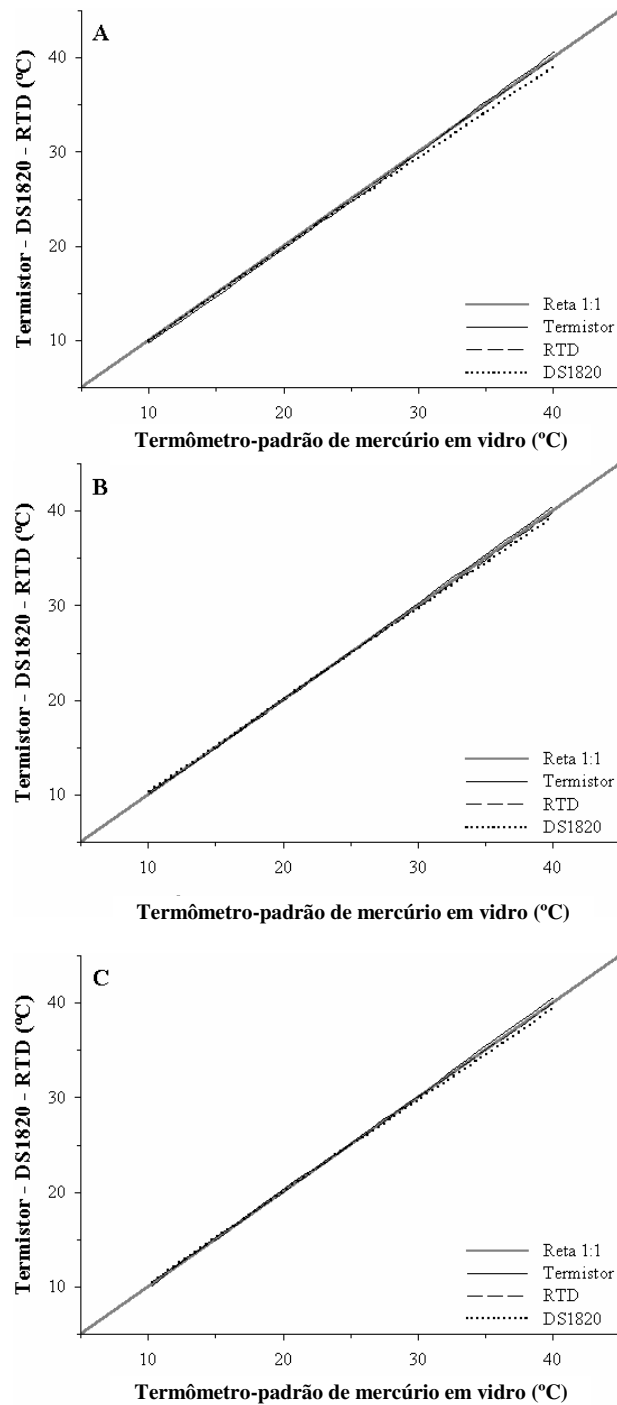


FIGURA 5. Relação entre as temperaturas medidas pelo termômetro-padrão e os valores obtidos pelo termistor, sensor DS1820 e RTD (três conjuntos distintos de sensores: A, B e C).

TABELA 1. Erro absoluto médio (EAM) e índice de concordância de Willmott (CW) dos sensores de temperatura com base no termômetro-padrão.

	Termistor	Sensor DS1820	RTD
Primeiro conjunto de sensores (A)			
EAM (°C)	0,26	0,47	0,04
CW	0,9991	0,9963	0,9999
Segundo conjunto de sensores (B)			
EAM (°C)	0,12	0,28	0,10
CW	0,9997	0,9986	0,9998
Terceiro conjunto de sensores (C)			
EAM (°C)	0,19	0,30	0,05
CW	0,9994	0,9985	0,9999

Para a medição de temperatura, foi necessário somente um pino do conector DB25 da porta paralela para a recepção de dados. Portanto, podem ser conectados até cinco circuitos eletrônicos idênticos ao descrito.

CONCLUSÕES

O circuito proposto é capaz de medir com exatidão e precisão a temperatura na faixa de 10 a 40 °C. Nessa faixa de temperatura, o maior erro absoluto médio foi inferior a 0,3 °C para os três termistores utilizados, os quais foram conectados ao circuito eletrônico proposto. Portanto, o método de medição apresentado teve desempenho similar aos sistemas modernos de aquisição de dados atualmente disponíveis para medição de temperatura do ambiente em instalações agrícolas. O baixo custo dos componentes do circuito, a aquisição de dados utilizando um simples computador via porta paralela e a fácil adaptação a sistemas de controle tornam esse circuito eletrônico ideal para aplicações nas quais sejam necessários monitorar e controlar a temperatura.

REFERÊNCIAS

- AXELSON, J. Parallel port complete: programming, interfacing and using the PC's parallel printer port. 1996. Disponível em: <<http://www.lvr.com/parprtib.htm#chapter1>>. Acesso em: 27 out. 2004.
- DeFELICE, T.P. *An introduction to meteorological instrumentation and measurement*. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 229 p.
- FLORES, N.C.; BOYLE, E.A.E. Thermometer calibration guide. Manhattan: Kansas State University, Agricultural Experiment Station, 2000. 8 p.
- FRADEN, J. *Handbook of modern sensors: physics, designs and applications*. 2nd ed. Baltimore: United Book Press, 1996. 556 p.
- LYNX. Conceitos básicos de aquisição de dados. Lynx Tecnologia. Disponível em: <http://www.lynxtec.com.br/tutor_aqd.htm>. Acesso em: 30 jul. 2004.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; FILHO, M.A.C.; VILA NOVA, N.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, n.4, p.839-44, 2001.
- McGHEE, J.; HENDERSON, I.A.; SYDENHAM, P.H. Sensor science: essentials for instrumentation and measurement technology. *Measurement*, Amsterdam, v.25, n.2, p.89-113, 1999.
- STEIDLE NETO, A.J. *Avaliação do sistema 1-wireTM para aquisição de dados de temperatura em instalações agrícolas*. 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2003.
- TAYLOR, H.R. *Data acquisition for sensor systems*. London: Chapman & Hall, 1997. 327 p.
- TURCO, J.E.P.; FERNANDES, E.J. Construção e avaliação de um psicrômetro de termopares. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.3, p.468-76, 2003.
- WANG, J.Y.; FELTON, C.M.M. *Instruments for physical environmental measurements*. 2nd ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1983. 317 p.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research Oceans*, Washington, n.90, p.8995-9005, 1985.
- ZOLNIER, S.; GATES, R.S.; ANDERSON, R.G.; NOKES, S.E.; DUNCAN, G.A. Non-water-stressed baseline as a tool for dynamic control of a misting system for propagation of poinsettias. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.44, n.1, p.137-47, 2001.
- ZOLNIER, S.; GATES, R.S.; GENEVE, R.L.; BUXTON, J.W. Evapotranspiration-based misting control for poinsettia propagation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.46, n.1, p.135-45, 2003.
- ZOLNIER, S.; LYRA, G.B.; GATES, R.S. Evapotranspiration estimates for greenhouse lettuce using an intermittent nutrient film technique. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.47, n.1, p.271-82, 2004.