

ISSN 0104-1347

Desenvolvimento de um sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de temperatura do ar¹

Development of a low-cost system for collecting air temperature data

Késia Oliveira da Silva² e Sérgio Oliveira Moraes³

- NOTA TÉCNICA -

Resumo - Dada a importância do ambiente na produção animal e vegetal e portanto um controle ambiental adequado, o trabalho propõe como objetivo a construção de um sistema de aquisição automatizada de dados de temperatura, utilizando um microcontrolador de dimensões reduzidas e baixo custo. Como sensor de temperatura utilizou-se o termistor. As etapas de calibração do mesmo, utilizando situações naturais e artificiais, bem como as metodologias desenvolvidas também são apresentadas, além do diagrama de montagem eletrônica e o programa de monitoramento térmico. Os resultados permitem concluir que o sistema poderá ser utilizado com segurança no monitoramento dessa variável.

Palavras-chave: temperatura, aquisição de dados, monitoramento térmico

Abstract - Given the importance of the environment on animal and plants production and, therefore, an appropriate environmental control the objective of this work was the construction of an automated acquisition system of temperature data, by using a controller with reduced dimensions and low cost. A thermistor was used as the temperature sensor. Calibration was performed under natural and artificial conditions. The methodology, the electronic assembly diagram and the code are presented. The results showed that the system can be used for monitoring this environmental factor.

Key words: temperature, data acquisition, thermal monitoring

Introdução

O ambiente influencia diretamente na produção animal e vegetal, e para se obter um desenvolvimento máximo do potencial genético, há necessidade de um controle ambiental.

Dentre os componentes do ambiente, o ar atmosférico é um dos principais a serem citados, sendo a temperatura uma das suas principais propriedades

psicrométricas (NÄÄS, 1998). Esta medida é de grande importância em áreas como agricultura e engenharia e os fabricantes de instrumentos têm se preocupado com esse desenvolvimento sendo que já existe uma grande variedade de equipamentos comerciais com essa finalidade.

A automatização na obtenção dos dados tem gerado avanços enormes pois permite o acesso a medidas em tempo real e, portanto, a tomada rápida de decisões. Nos últimos anos tem surgido no mercado

¹Trabalho desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP como parte do programa de Mestrado em Agrometeorologia do primeiro autor.

²Eng. Agrícola, Msc. em Agrometeorologia, Departamento de Ciências Exatas, Av. Pádua Dias n.11, caixa postal: 09, CEP: 13.418-900, Piracicaba-SP, e-mail: kosilva@uol.com.br, bolsista CNPq.

³Prof. Dr. Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP, e-mail: somoraes@carpa.ciagri.usp.br

dispositivos que permitem a construção de sistemas de aquisição de dados, que atuam diferentemente dos “data loggers” pois ao utilizarem um microcomputador como suporte, diminuem o custo do equipamento e permitem a análise de dados em programas de planilhas ou gráficos de maior intimidade com o usuário. A consequência é a diminuição de custos para aquisição automática de dados (DALLY et al., 1993).

Tendo em vista a importância dos dados meteorológicos, o trabalho apresenta como objetivo a construção de um sistema de aquisição de dados de temperatura do ar utilizando um microcontrolador de dimensões reduzidas de baixo custo e facilmente programável.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Física do Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ – USP, Piracicaba SP, e compreendeu as etapas de montagem do sistema e sua calibração. Na montagem do sistema utilizou-se o BASIC STAMPII (BSII, PARALLAX Inc. (R)) como microcontrolador para aquisição dos dados de temperatura do ar, cujo custo atual do conjunto contendo (BASIC Stamp11, placa-mãe, programa, cabo e documentação necessária para programação) na Parallax PARALLAX (2001) seria aproximadamente R\$368,00 (R\$1,00 = US\$2,47) (no Brasil é comercializado por exemplo pela Anacom, ANACOM (2001)). O sensor de temperatura utilizado foi o termistor, fornecido pela Philips. Este sensor de temperatura possui pequeno diâmetro (12mm x 3mm) e responde rapidamente às mudanças de temperatura, apresentando uma alta sensibilidade durante longos períodos de tempo e é resistente a diversos tipos de ambiente.

O sistema é alimentado por uma bateria de 9V e conectado na porta paralela de um microcomputador (AT/386) (BERNADES, 1996). O diagrama esquemático do sensor de temperatura juntamente com as respectivas dimensões podem ser observado, na Figura 1A. Na Figura 1B está representado o sensor de temperatura do ar, na sua forma real.

Começou-se então a coletar os pares de dados fornecidos pelo sensor de temperatura e o termômetro utilizado como padrão num intervalo de tempo de 60 segundos entre cada coleta, iniciando-se com um pré-aquecimento de 50 °C e deixando-se que a mesma se reduzisse naturalmente.

Na segunda etapa de calibração do sensor de temperatura utilizou-se como recipiente uma caixa de isopor aberta contendo no seu interior gelo picado, água (utilizada para aumentar a superfície de contato com o gelo), misturador, termômetro padrão e o sensor a ser calibrado. Para a homogeneização da temperatura da água contida no interior do recipiente, foi desenvolvido uma haste de cobre em cuja extremidade fixou-se um retângulo de alumínio de 2,5cm de comprimento por 1,5cm de largura para atuar como misturador, e o movimento rotativo foi obtido fixando-se a haste ao mandril de uma furadeira com velocidade controlada.

O misturador foi fixado ao mandril de uma furadeira elétrica (Bosch de 110V, 360W, 420 / 1000RPM e diâmetro de 13/8mm) responsável pelo giro. A rotação da furadeira foi controlada por um transformador variador de voltagem (varivolt), (STP, tipo ATV - 115 - 4), ligado em paralelo com um voltímetro regulado em fundo de escala 200V. Para se obter a rotação correta do misturador, utilizou-se um “Becker” de 1000 ml, contendo serragem, água e o misturador. Colocou-se água no interior do “becker”, com um pouco de serragem e em seguida inseriu-se o misturador a uma altura correspondente à metade do “becker”. Neste momento, aumentou-se gradativamente a rotação do misturador e observou-se qual a melhor rotação para homogeneizar a mistura.

Observou-se que quando a água entrava em equilíbrio com o ambiente, em qualquer posição do termômetro, a temperatura medida permanecia constante, devido ao pequeno volume da caixa de isopor face à capacidade do agitador. Deste modo, estipulou-se uma altura padrão para o termômetro e o misturador e sempre antes das leituras esperava-se a água entrar em equilíbrio, agitado pelo misturador.

Com a água, gelo picado e o misturador a uma rotação correspondente a uma tensão de 17 Volts, aguardou-se 30 minutos para a água e o gelo entrarem em equilíbrio no interior da caixa de isopor aberta, iniciando-se então o processo de medição, cujos valores foram obtidos à medida que as leituras do termômetro fossem variando naturalmente com o ambiente.

Para melhorar o sistema anterior foi confeccionado um “banho-maria”, desenvolvido em laboratório, utilizando-se a caixa de isopor da segunda etapa, porém, fechada (Figura 2A), cuja tampa serviu de suporte para os seguintes componentes: resistor de aquecimento do banho, termômetro padrão, sensor de temperatura a ser calibrado e misturador, Figura 2B.

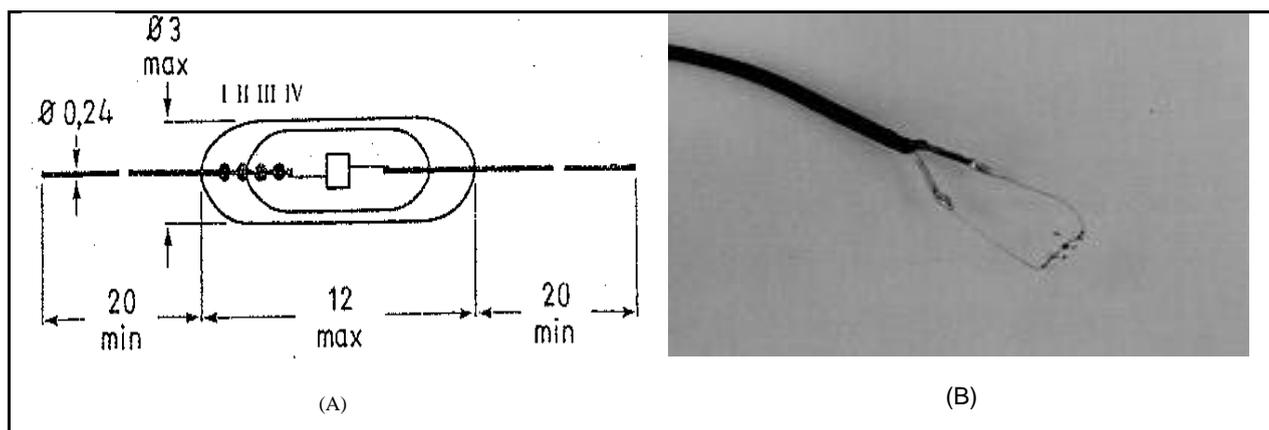


Figura 1. Sensor de temperatura (A) e sensor de temperatura na sua forma original (B).

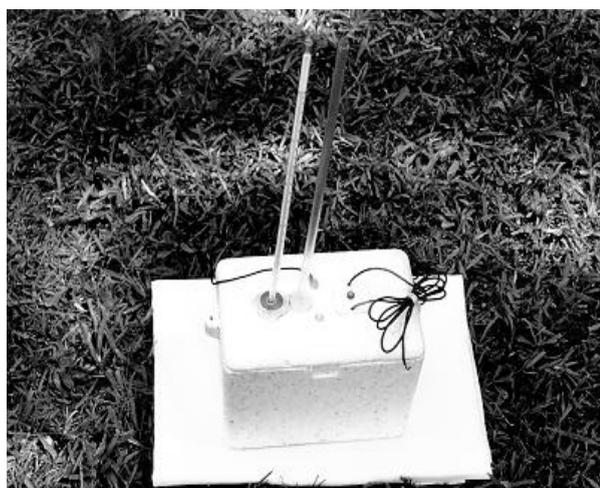
O termômetro padrão e o sensor foram fixados na tampa da caixa de isopor com cola de silicone. O termômetro padrão (Certificado de calibração fornecido pela Calibratec, 1996), possui escala interna de vidro opalino, capilar, refletor prata de mercúrio, faixa nominal de $-10,7^{\circ}\text{C}$ a $50,7^{\circ}\text{C}$, leitura $0,1^{\circ}\text{C}$, comprimento 470mm e diâmetro de 8,5mm, marca Incoterm.

O sensor de temperatura a ser calibrado foi fixado com uma fita plástica ao termômetro de mercúrio, e para imersão do sensor de temperatura em água necessitou-se desenvolver um processo de isolamento na sua fiação para evitar que a condução de corrente elétrica pela água interferisse no sinal elétrico gerado pelo sensor. Este processo de isolamento foi feito ini-

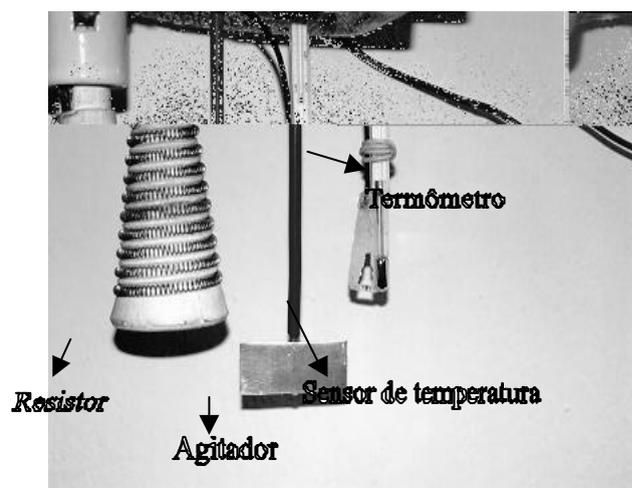
cialmente com cola de silicone e na busca por novas opções utilizou-se, primeiramente, um pequeno saco plástico, verniz (isolante elétrico) e em seguida, uma bexiga de borracha (segunda calibração).

A calibração foi iniciada à temperatura de 0°C e a partir dessa temperatura forneceu-se ao resistor (resistência elétrica), uma potência aparente constante de 74,25VA, (Potência = Amperes x Volts) provocando uma elevação da temperatura que permitiu a coleta de pares de dados do sensor e do termômetro padrão de grau em grau, até a temperatura de 50°C .

A equação de calibração foi determinada por meio de regressões entre o sinal gerado pelo sensor de temperatura e a leitura do termômetro de mercúrio (termômetro padrão).



(A)



(B)

Figura 2. Caixa de isopor utilizada na confecção do banho-maria (A) e disposição dos instrumentos utilizados na calibração (B).

Foram realizados dois ensaios de calibração e determinaram-se duas regressões para cada calibração. Uma regressão foi obtida utilizando-se os recursos da planilha eletrônica “EXCEL 7.0” e a outra utilizando o programa Table Curve 2D. Dentre as duas equações, a que apresentou o melhor coeficiente de correlação foi incluída no programa de aquisição de dados, calibrando-se assim o sensor.

O esquema eletrônico do sistema de aquisição de dados contendo o “BASIC STAMP II”, o sensor de temperatura, e os demais componentes eletrônicos são mostrados na Figura 3. A Figura 4 mostra o resultado da montagem e acondicionamento do BSII numa caixa de baquelite preta com dimensões de 6,7cm de largura e 8,5cm de comprimento e 3,8cm de espessura e os sensores conectados via cabo coaxial. No seu interior está a placa-mãe do BASIC StampII já com os sensores de temperatura conectados por ligações diferenciais e preparado para ser ligado ao computador a fim de começar a ler e armazenar os dados.

O BASIC StampII pode ser definido em relação ao número de canais, como um sistema menor, no caso de possuir sete canais, quando conectados de forma diferencial ou como maior, com 16 canais, quando conectados ao terra comum, de acordo com a literatura de DIAS (1998).

Os resultados da primeira tentativa de calibração do sensor não foram viáveis devido à heterogeneidade da temperatura da água dentro do recipiente fazendo com que os dados obtidos pelo termômetro não fossem confiáveis pois cada ponto da água dentro do vasilhame fornecia um resultado diferente, praticamente no mesmo instante.

Outro problema foi devido à rapidez da variação da temperatura da água dentro do vasilhame, uma vez que o recipiente em questão não permitia que a água entrasse em equilíbrio, a não ser em espaços de tempo muito curtos que não permitiam a leitura do termômetro padrão.

Como não foi bem sucedida a primeira etapa de calibração do sensor, devido à heterogeneidade da temperatura da água dentro do recipiente de alumínio, nesta etapa utilizou-se uma caixa de isopor aberta e um agitador com altura determinada a fim de manter a homogeneidade da água e conseqüentemente dos dados fornecidos pelo termômetro num dado instante. Começou-se então a medir os valores a uma temperatura de 0°C variando naturalmente com o ambiente.

Mesmo mudando o recipiente para um outro de maior isolamento térmica e utilizando-se um misturador, não foi suficiente para homogeneizar a água, pois o líquido ainda mantinha contato com o meio externo. Observou-se que para poder manter o controle do equilíbrio do líquido com segurança no interior do recipiente foi preciso fechá-lo completamente (banho-maria) e utilizar uma resistência elétrica (aquecedor), de modo a manipular a temperatura.

As dificuldades encontradas foram devidas à utilização de um resistor de aquecimento não blindado (aquecedor) que em contato direto com o gelo e a água provocou a ocorrência de correntes de fuga (condução elétrica) interferindo assim no termistor fazendo com que o mesmo ficasse descontrolado, emitindo dados incorretos pois não possuía isolamento da fiação. Essas dificuldades foram solucionadas com o envolvimento do sensor e fiação por uma bexiga, mas projetos futuros podem ser realizados com resistor blindado (do tipo utilizado em aquários ornamentais). Após a isolamento, a estabilidade eletrônica do sistema foi restituída o que possibilitou dar seguimento à etapa de calibração do sensor de temperatura.

A Figura 5 apresenta a montagem final do sistema utilizado na calibração, mostrando a caixa de isopor utilizada no “banho-maria” contendo o termistor ~~do tipo conta com cobertura de vidro~~ ISMAIL et al., 1998), o microcomputador de apoio, o termômetro padrão, os variadores de voltagem para ajustes do resistor de aquecimento e variação da rotação do misturador pela furadeira elétrica e três multímetros digitais utilizados no monitoramento da intensidade da corrente, tensão do resistor e da tensão na furadeira.

Resultados e discussão

Foram obtidas, após os procedimentos de elevação da temperatura, duas equações de regressão para cada um dos dois ensaios de calibração, sendo que a equação que apresentou melhor coeficiente de correlação foi incluída no programa de aquisição de dados.

A Figura 6 realça duas características dos termistores, seu comportamento não linear (ISMAIL et al., 1998) e o fato de variar inversamente com a temperatura, isto é, quando esta aumenta o sinal gerado pelo sensor diminui e vice-versa, daí o fato do termistor na Figura 3 ser indicado pela sigla “NTC” que significa “Negative Temperature Coefficient”.

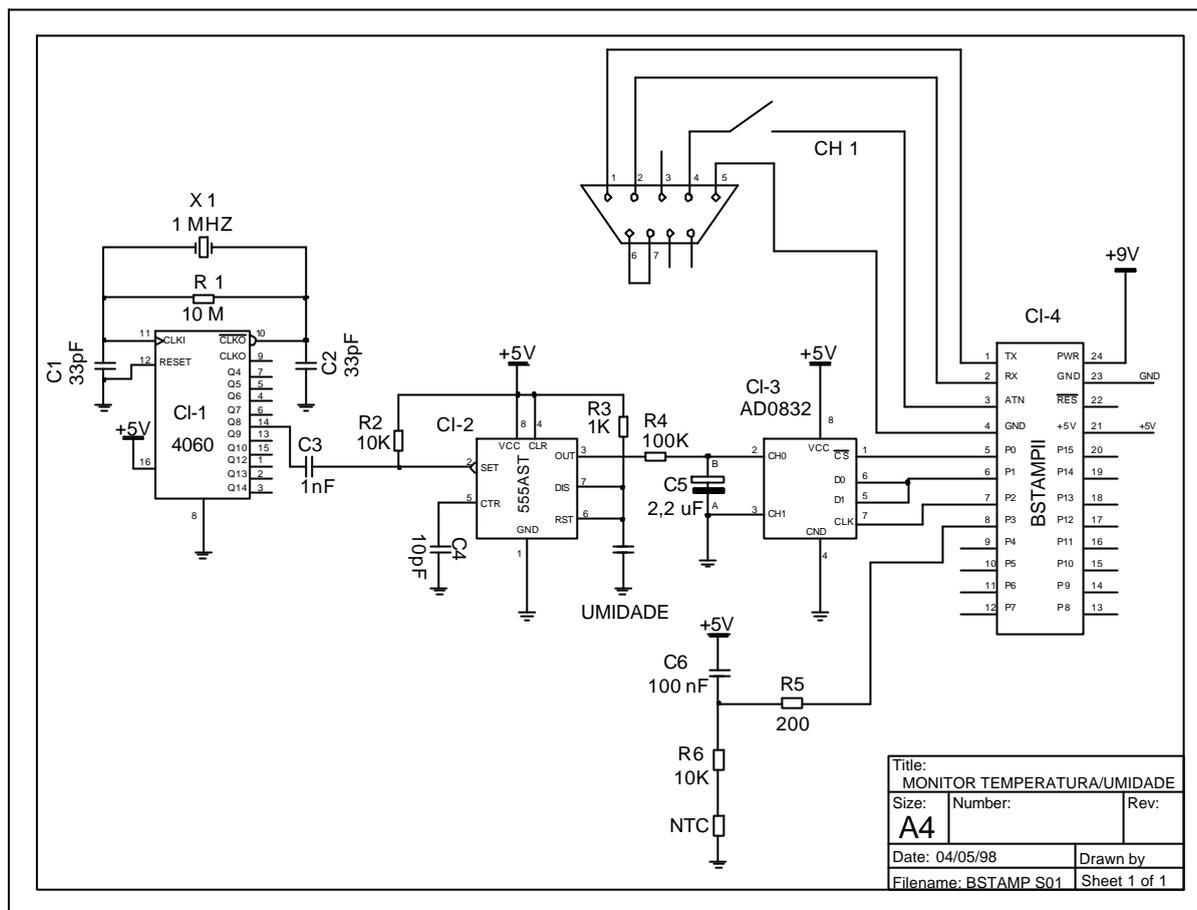


Figura 3. Esquema eletrônico do sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar.

De acordo com LEVIN (1987), ou seja, embora reconhecendo que o coeficiente de determinação (R^2) de Pearson seja adequado para regressões lineares, o mesmo foi utilizado como um dos critérios para comparação dos dados de temperatura obtidos pelo termômetro padrão com os fornecidos pelo termistor, obtendo-se um valor de $R^2 = 0,9999$.

A equação obtida pela regressão foi incluída no programa para a obtenção da temperatura em °C sendo apresentada em destaque na Figura 7, a qual mostra também a simplicidade da etapa de programação. Após a calibração, o sistema de aquisição de dados entrou em operação normal para o monitoramento da temperatura ambiente.

De acordo com PEARCY et al. (1989), o sistema de aquisição de dados depende da memória e do sistema de armazenamento do computador de apoio

sendo que o BASIC StampII tem uma memória EEPROM de 256 bytes onde cada função ocupa de 2



Figura 4 Sensores de temperatura e umidade relativa conectados ao BSII embutido na caixa de baquelite preta.

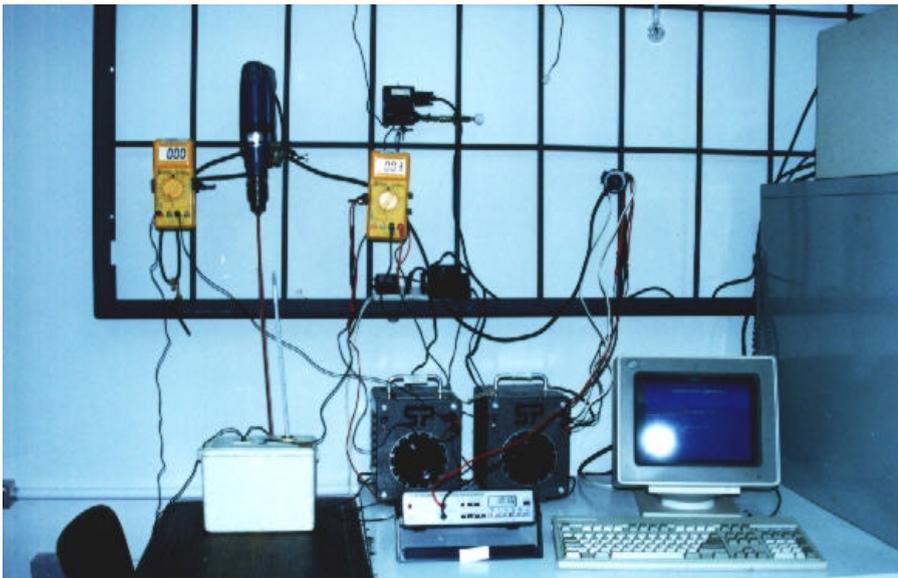


Figura 5. Visão geral do sistema utilizado na calibração do sensor de temperatura

a 3 bytes resultando em um programa de no máximo 80 a 100 instruções. O interpretador executa aproximadamente 2.000 instruções por segundo.

O BASIC StampII precisa da memória de um microcomputador para armazenar as leituras, pois sua memória "RAM" é de apenas 50 bytes e então o número de dados armazenados vai depender da capacidade da memória do computador utilizado. O tempo ajustado para amostragem e armazenamento dos dados foi de 60 segundos, após esse intervalo eles foram descarregados em uma planilha eletrônica do "Excel 7.0", permitindo a manipulação dos dados segundo as necessidades do operador ou ao invés de

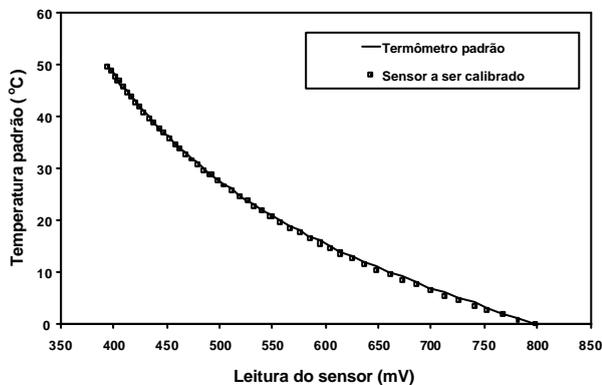


Figura 6. Curva de regressão relacionando os dados de temperatura, em °C, do termômetro padrão e as respectivas leituras do BSII (mV).

utilizar os recursos disponíveis no "Excel 7.0" pode-se consultar a temperatura máxima, mínima, média e inclusive o horário em que ocorreram, utilizando-se os próprios recursos do programa.

Conclusão

A utilização do "BASIC STAMP (R)" na confecção de um sistema de aquisição de dados de temperatura mostrou-se totalmente viável, tanto pela facilidade de operação quanto pelo custo do sistema.

Referências Bibliográficas

- ANACOM. Página da anacom. Disponível em: <<http://www.anacom.com.br>>. Acesso em: 02/08/1999.
- BERNARDES, L.H.C. Basic stamp. **Saber eletrônica**. São Paulo, v. 32, p. 16-24, 1996.
- DALLY, J.W.; WILLIAM, F.R.; McCONNELL, K.G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2.ed. New York: John Wiley, 1993. 584 p.
- DIAS, G.P. Automação e Instrumentação para Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. Poços de Caldas, 1998. **Mecanização e Agricultura de Precisão**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 231.
- GRUBER, J.; PARDINI, V.L.; VIERTLER, H.; Termômetro digital IV multicanal empregando LM35 como sensor de temperatura. **Saber Eletrônica**, São Paulo, v. 32, n. 312, p. 8-11, 1999.
- ISMAIL, K.A.R.; GONÇALVES, M.M.; BENEVENUTO, F.J. **Instrumentação Básica para Engenharia**. Campinas: Do autor, 1998. cap.2, p.292-330: Termoeletricidade e termopares.
- NÄÄS, I. A. Zootecnia de precisão: Aplicação na produção de Leite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO NA PRODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba, 1998. **Ambiência na Produção de Leite em Clima Quente**. Piracicaba, 1998. **Resumos**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 1-9.
- PARALLAX. Página da Parallax Inc>. Disponível em: <<http://parallaxinc.com>>. Acesso em: 06/06/1999.
- PEARCY, R.W. **Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation**. London: British Library, 1989. 442 p.
- LEVIN, J. **Estatística aplicada a ciências humanas**. São Paulo: Harbra, 1987. cap.11, p. 276-316.

```
Open "COM1:9600,N,8,1,CD0,CS0,DS0,OP0,RS" For Input As #1
COLOR 7, 1
Cls
Print
COLOR 14, 1
LOCATE 3, 20
Print " LABORATORIO DE FÍSICA E AGROMETEOROLOGIA "
AGAIN:
LOCATE 10, 29
Letras$ = Input$(3, #1)
Print "VALOR TEMPERATURA = "; Val(letras$)
Rem Equação de temperatura estimada na regressão

$$T = -676059.53 + (-1.1097521 * (\text{Val}(\text{Letra\$})) + (34882.227 * \text{Log}(\text{Val}(\text{letras\$}))) + (3583504.7 / (\text{Log}(\text{Val}(\text{letras\$})))) + (-2610912.4 / (\text{Val}(\text{letras\$}) ^ 0.5)))$$

Print "TEMPERATURA = "; T; " oC"
LOCATE 15, 29
Letras$ = Input$(3, #1)
GoTo AGAIN
```

Figura 7. Programa para obtenção da temperatura e umidade relativa onde a equação referente à temperatura já é resultante da calibração