

Sistema automatizado embarcado em microcontrolador para controle e supervisão do ambiente térmico para aviários

An automated system embedded in microcontroller to control and supervise thermic conditions for aviaries houses

Paulo Dias de ALECRIM^{1,2}; Alessandro Torres CAMPOS³; Tadayuki YANAGI JÚNIOR⁴

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor; Pesquisa financiada pela Fundação de Apoio à Pesquisa do estado de Minas Gerais – FAPEMIG;

² Autor para correspondência; Mestre, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Núcleo de Construções e Ambiente do Departamento de Engenharia – DEG/UFLA, Laboratório de Construções e Ambiente, Caixa Postal 3037 - CEP 37200-000 – Lavras – MG; paulo.alecrim@ifmg.edu.br

³ Doutor; Universidade Federal de Lavras – UFLA; campos@deg.ufla.br

⁴ Doutor; Universidade Federal de Lavras – UFLA; yanagi@deg.ufla.br

Resumo

A temperatura e a umidade relativa do ar são importantes variáveis meteorológicas na avaliação do conforto térmico para aves. Dessa forma, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver um sistema automatizado, composto por *hardware* e *software*, embarcado em microcontrolador, para controle e supervisão do ambiente térmico em galpões de frangos de corte, em Lavras - MG. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, sendo que a primeira constituiu de análise computacional por meio de simulação, e a segunda constituiu da avaliação do *hardware* e *software* desenvolvidos por meio de teste do equipamento no registro de variáveis meteorológicas, em túneis de vento climatizados. O protótipo mostra-se apto a operacionalizar de forma automática o controle de equipamentos para ambiência para aviários e supervisão de variáveis meteorológicas.

Palavras-chave adicionais: conforto térmico; ambiência; *software*

Abstract

Air temperature and relative humidity are important meteorological variables to evaluate thermal comfort for birds. So, the objective of this study was to develop an automated system formed by hardware and software embedded in the microcontroller so as to supervise and control thermal conditions in broiler sheds. This study was carried out in Lavras, state of Minas Gerais, Brazil. It had two phases : the first consisted in a computational analysis by simulation and the second in which the developed hardware and the software had their sensitivity in registering meteorological conditions evaluated in an acclimated wind tunnel. The prototype was able to control automatically ambience equipments for aviaries houses and supervise meteorological variables.

Additional keywords: thermal comfort, ambience, software

Introdução

O desenvolvimento da avicultura no Brasil teve início na década de 1950 e, com o uso de novas tecnologias, o setor avícola tem adotado sistemas de controle que possibilitam melhor produtividade com baixo custo operacional, buscando, assim, o aumento da eficiência. Atualmente, o País é o terceiro maior consumidor de carne de frango e o maior exportador mundial (UBA, 2012).

Entre os fatores climáticos, os que afetam mais diretamente as aves são os elementos térmicos, representados principalmente pela

temperatura e umidade relativa do ar (t_{bs} e UR, respectivamente), influenciando diretamente o estado de conforto térmico (CARVALHO et al., 2009; NARDONE et al., 2010; KIRAN & RAJPUT, 2011). Em temperaturas muito elevadas, dependendo da faixa de idade das aves, o principal meio de dissipação de calor é a evaporação, que depende diretamente da UR (YANAGI JUNIOR, 2006). Para que um ambiente seja considerado confortável, é necessário que a ave não perca energia, seja para compensar o frio, seja o calor (SANTOS et al., 2009).

De acordo com os autores (MEDEIROS et al., 2005; FURTADO et al., 2006; OLIVEIRA et

al., 2006), o conforto térmico das aves pode ser avaliado também pelo índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), o qual reúne os efeitos combinados de t_{bs} , UR, velocidade do vento e radiação. O conforto térmico de frangos de corte, criados em condições de confinamento da primeira semana de vida ao abate, está relacionado com uma faixa de t_{bs} , UR e ITGU, que determina a zona do conforto térmico animal (ROCHA et al., 2010). Outros estudos mostram que a máxima produtividade de frangos para as condições climáticas brasileiras é obtida quando a t_{bs} está entre 21 e 33° C, UR entre 51 e 71% e o ITGU entre 68 e 80 (MEDEIROS et al., 2005; FURTADO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006).

As mudanças no perfil do empresário rural, forçado a migrar para um modelo empresarial de gestão da propriedade, trouxeram para o segmento aviário a necessidade de se controlar todas as etapas do processo produtivo. Os sistemas automatizados para controle do ambiente térmico no interior das instalações para aves surgiram como uma alternativa para suprir a necessidade de monitorar e supervisionar o funcionamento de sistemas físicos de forma segura, rápida e independente da presença humana (SILVA & MORAES, 2002). De acordo com SEO et al. (2009), a automação tem tido grandes avanços para o controle e supervisão de sistemas voltados à agroindústria, pois, por meio de sensores remotos, é possível o acesso às condições climáticas em tempo real e, portanto, a tomada rápida de decisões para proporcionar o conforto térmico aos animais.

Sistemas de automação e controle geralmente são construídos utilizando microcontroladores programáveis, que se caracterizam por incorporar no mesmo *chip* um microprocessador, memória de programa e dados, interface de entrada/saída de dados e vários periféricos (ERDEM, 2010; IBRAHIM, 2010; ZERGER et al., 2010). A grande vantagem de se utilizar microcontroladores é que eles chegam a custar muitas vezes menos que um simples semicondutor, como um transistor, por exemplo, e, por se tratar de um circuito integrado (CI), possui uma CPU (*Central Processing Unit*) capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos em curto espaço de tempo (ALVAREZ CABRERA et al., 2010).

Tendo em vista as necessidades do setor da avicultura em disponibilizar, nos mercados interno e externo, produtos e serviços competitivos, ou seja, produtos com qualidade a baixo custo, sistemas automatizados para con-

trole e supervisão do conforto térmico animal assumem posição de destaque. Diante da importância desses fatores, objetiva-se, com o presente trabalho, desenvolver e implementar um controlador automatizado, composto de *hardware* e *software* embarcado em microcontrolador, para o controle e a supervisão do ambiente térmico para galpões de frangos de corte.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado em julho de 2011, no Núcleo de Construções e Ambiente do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras – MG, no Laboratório de Construções e Ambiente. Os testes foram realizados utilizando dois Túneis de vento Climatizados que possuem ventilação forçada, sistema de resfriamento adiabático evaporativo e sistema de aquecimento automatizado. Os Túneis de Vento foram construídos com base em estudos técnico-científicos que atendem às condições do ambiente térmico para aviários. O desenvolvimento do controlador automatizado para controle e supervisão do ambiente térmico no interior de galpões, para criação de frangos de corte, foi realizado em duas etapas, sendo a primeira por meio de modelagem e simulação computacional, utilizando o *software* Proteus versão ISIS 7.7 SP2 *Professional* (Demo) (LABCENTER, 2011). Na segunda etapa, foi feita a montagem do *hardware* e seus periféricos, com base no circuito modelado e simulado. A Figura 1 ilustra o diagrama em blocos do sistema desenvolvido, simulado e implementado neste trabalho.

Nesta segunda etapa, foram realizadas as calibrações necessárias para converter um sinal elétrico de caráter analógico, oriundo dos sensores em um sinal digital em *bits*. Foram realizadas as conversões desses valores em *bits* para valores da escala de medida das variáveis climáticas, tais como t_{bs} , temperatura de globo negro (t_{gn}) e UR, conforme especificações dos fabricantes de sensores.

Para a validação do sistema desenvolvido, foram introduzidos, no interior de dois túneis de vento climatizados, sensores para medição das variáveis t_{bs} , t_{gn} e de UR. Em cada túnel climatizado, foram introduzidos quinze pintainhos com cinco dias de vida. Das 9 h às 16 h, foram feitas medidas t_{bs} , t_{gn} , e de UR. A modelagem matemática para obter o valor do ITGU pelo *software* foi feita por meio da coleta de sinais das variáveis t_{bs} , t_{gn} e UR.

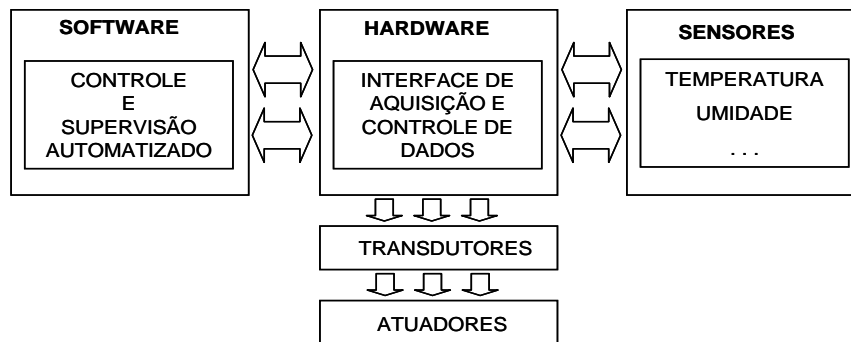


Figura 1 - Sistema de controle climático genérico. *Generic climatic control system.*

Visando a avaliar a estabilidade do controlador, foram feitas comparações entre as variações de t_{bs} , t_{gn} e UR do controlador em relação aos valores medidos e coletados pelos sensores dos dois túneis. Os dados coletados, por serem analógicos, foram transmitidos à porta do conversor A/D do microcontrolador, para processamento.

O microcontrolador utilizado na implementação do controlador automatizado foi o PIC18F4520, da empresa *Microchip*, de uso geral, empregado em sistemas de automação e controle, porém, de baixo custo, visando a minimizar o custo global do sistema. O PIC18F4520 é um componente de 40 pinos em seu encapsulamento PDIP (*Plastic Dual In-Line*

Package), cujos pinos são divididos em terminais de alimentação, *reset*, de conexão com o oscilador e os 33 terminais de portais I/Os e periféricos. Possui 13 entradas analógicas AD de 10 bits, 32 k de *Flash ROM (Read Only Memory)*, 256 bytes EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e 1.536 bytes de RAM (*Random Access Memory*) (WILMSHURST, 2007; ARTIMAR, 2012).

Modelagem e simulação computacional

A montagem do protótipo para o controlador automatizado deu-se com base na modelagem e simulação do modelo adotado para este trabalho, sendo os sensores de t_{bs} , t_{gn} e UR ilustrados na Figura 2.

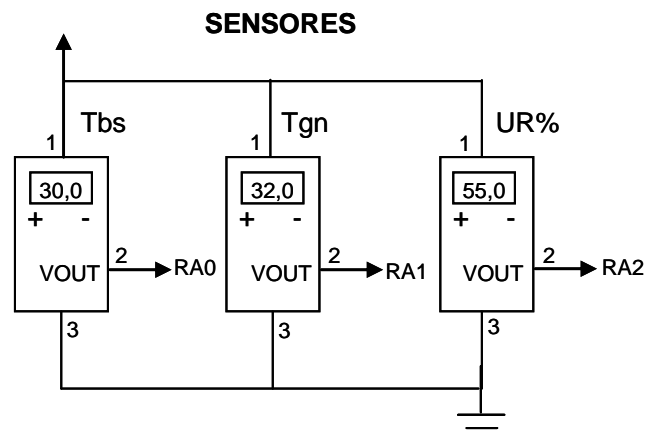


Figura 2 - Simulação dos sensores de temperatura do bulbo seco do ar (t_{bs}), temperatura do globo negro (t_{gn}) e umidade relativa (UR). *Dry bulb temperature (t_{bs}) sensor simulation, the black globe temperature (t_{gn}), and air relative humidity (UR).*

A comunicação entre o microcontrolador e os periféricos, tipo atuadores, é feita utilizando os *drivers* encapsulados no CI ULN2803 e relés para comandar os atuadores. A Figura 3 ilustra o *driver* utilizado para acionamento de cada atuador, de acordo com as tomadas de decisão do *software*

desenvolvido, e a Figura 4, o interfaceamento entre os *drivers* e os atuadores.

Para simular o acionamento dos atuadores, foram usadas seis saídas da porta C do microcontrolador (RC0, RC1, RC2, RC3, RC4 e RC5), conectadas às entradas 2B a 7B do CI ULN2803, responsáveis pelo acionamento dos

atuadores, ou seja, primeiro e segundo estágios de exaustores, sendo dois exaustores por estágio, Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo (SRAE) e sistema de aquecimento

que foi dividido também em dois estágios simulados pelo acionamento de LEDs.

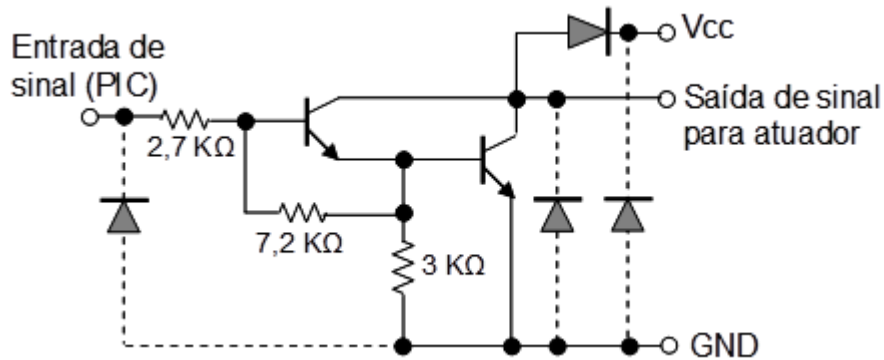


Figura 3 - Driver (CI ULN2803).

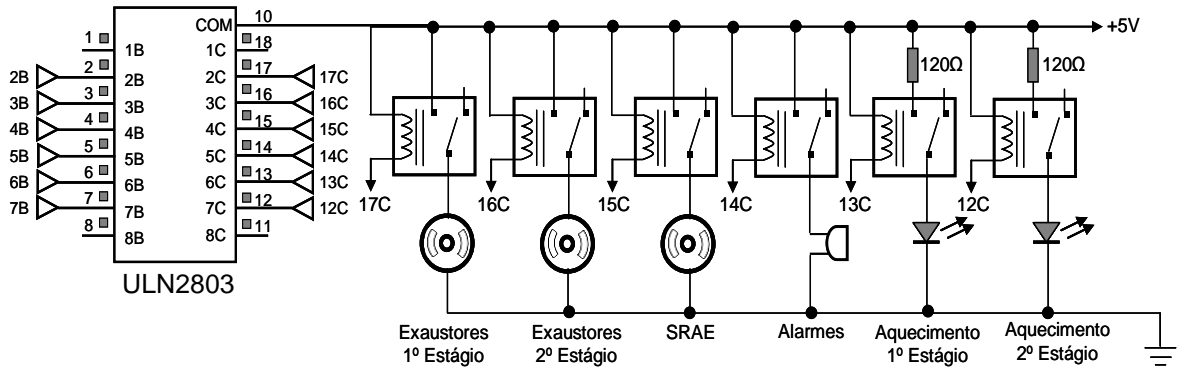


Figura 4 - Drivers e conjunto de atuadores. Drivers and acting elements.

O controle e a supervisão de forma automatizada dos parâmetros climáticos foram simulados com a gravação do *software* desenvolvido na linguagem C e embarcado no microcontrolador PIC, utilizando o *software* Proteus. Foram utilizados na modelagem e simulação os sensores LM35 para simular as t_{bs} e t_{gn} . Para simular a UR, foi utilizado também o LM35 com ajustes das variações de tensão de forma a fornecer à entrada do microcontrolador valores de tensão calibrados para cada faixa da UR correspondente. O microcontrolador recebeu as variações de tensões correspondentes às variações da t_{bs} através da porta AN0, t_{gn} pela porta AN1 e UR pela porta AN2. Tais portas correspondem às entradas do conversor A/D de 10 *bits* do microcontrolador que foram devidamente configurados no *software* por meio dos registradores ADCON0, ADCON1 e ADCON2.

Na modelagem e simulação para os atuadores, foram utilizados dois estágios temporizados para os exaustores, simulando dois grupos com dois exaustores cada, totalizando quatro exaustores e SRAE através de motor DC do simulador, conforme ilustrado na Figura 4.

Para acionamento dos atuadores, foi configurada, pelo *software*, a porta C do microcontrolador, como saída, da seguinte forma: acionamento do primeiro estágio de exaustores, sendo dois exaustores por estágio pela porta RC2; segundo estágio, dois exaustores pela porta RC4; SRAE pela porta RC3; alarme sonoro pela porta RC5; primeiro estágio de aquecedores, pela porta RC0, e segundo estágio, pela porta RC1. A Figura 5 mostra o diagrama elétrico simulado e implementado para o controlador automatizado.

Foi utilizado na simulação um *display* de quatro linhas 16 x 4 para exibir os valores de t_{bs} (°C), UR (%), e por meio de modelagem matemática, o *software* desenvolvido obtém o valor do ITGU através da coleta dos sinais pelas variáveis t_{bs} , t_{gn} e UR. Pela chave CH1, é possível reinicializar o sistema para o caso de acionamento de alarmes ou para ajuste da temperatura de referência (t_{ref}); pela chave CH2, inicializa-se o controlador automatizado, e o ajuste da t_{ref} é feita através do potenciômetro POT1.

Ao inicializar-se a simulação, o *software* exibe uma tela para ajuste da temperatura de referência (t_{ref}) utilizada para calcular a temperatura limite superior. Conforme estudos realizados

pelos autores MEDEIROS et al. (2005), OLIVEIRA et al. (2006), COBB (2010) e CORDEIRO et al. (2010), o controle automatizado deve ser feito para um ciclo de 168 horas, ou seja, para cada ciclo, a faixa de temperatura será reduzida em média 3 °C. Dessa forma, para a primeira semana de vida das aves, a t_{bs} será mantida entre 30 e 33 °C, e, por fim, na última semana, entre 21 e 24 °C, com tolerância de 3 °C para cada ciclo. Assim, ao exibir a tela da Figura 6, é ajustado o valor da t_{bs} mínima para o ciclo semanal, e o *software* determina o limite superior para o processamento. O controlador desenvolvido e simulado manteve este ciclo de forma automática.

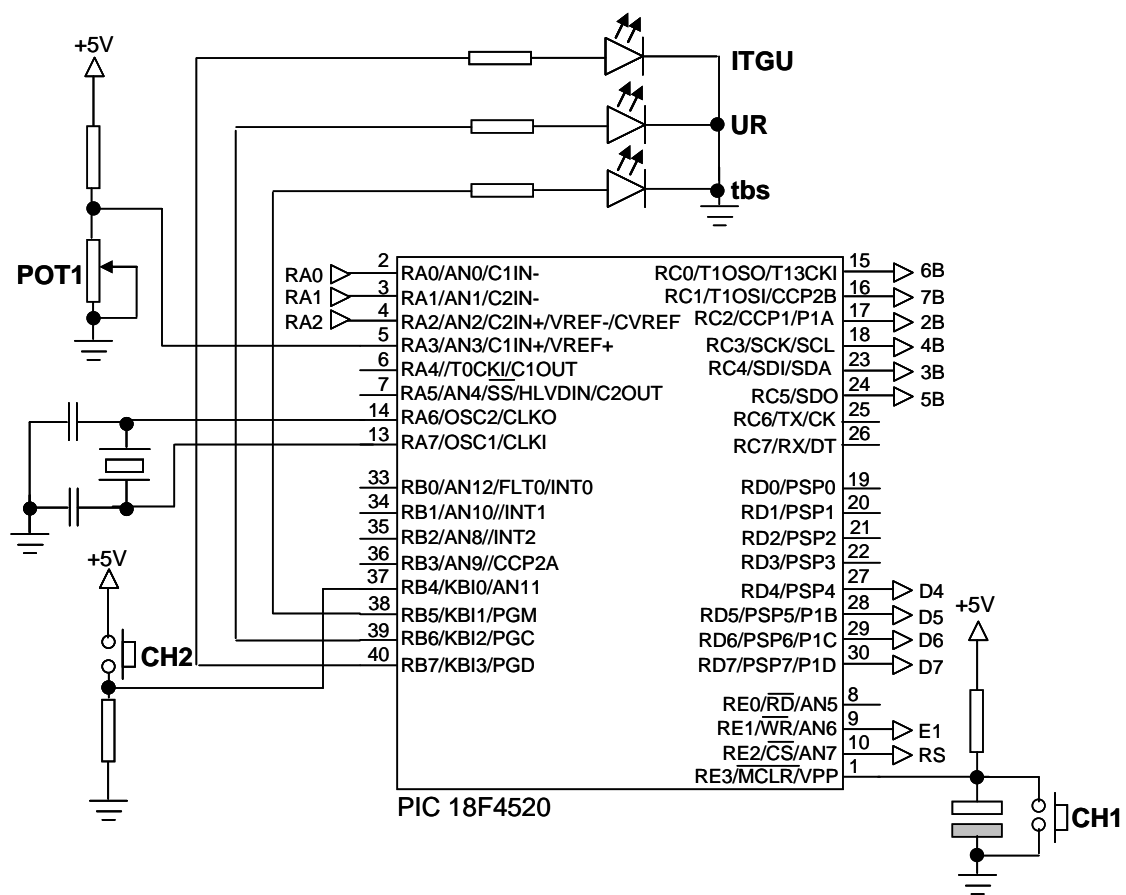


Figura 5 - Diagrama elétrico do controlador com PIC18F4520. *Electrical diagram of the controller with PIC18F4520.*

Para outros valores e/ou faixas para t_{bs} , os ajustes são feitos através da tela da Figura 6. Alterações nos valores de temperaturas ou acréscimo de diferentes sensores podem ser feitas por meio de reconfigurações no algoritmo

do *software*, sem necessidade de conhecimento em programação na linguagem C, pois as alterações envolvem apenas a inclusão dos novos valores e/ou faixas para as variáveis que são universais e exibidas no topo do programa.



Figura 6 - Ajuste da temperatura de referência. *Reference temperature adjustment.*

Montagem do protótipo do controlador

O circuito elétrico do protótipo simulado foi montado e testado no interior de dois túneis de vento climatizados. Inicialmente, procedeu-se à montagem e ao teste do circuito elétrico do protótipo, ajustando o *software* desenvolvido e simulado, programando seus componentes, testando e calibrando os sensores utilizados para coletar os parâmetros climáticos. O protótipo foi

montado para testes em um *protoboard*, seguindo o modelo simulado e submetido a testes no interior de dois túneis de vento climatizado, para avaliar sua estabilidade no controle e na supervisão automática dos parâmetros climáticos.

Para coletar os dados de t_{bs} e t_{gn} , foi utilizado o sensor LM35, produzido pela *National Semiconductor Corporation*. Para a coleta dos dados de t_{gn} , foi utilizado um globo de plástico com diâmetro de 15 cm, pintado na cor preta. O LM35 apresenta relação linear entre o sinal emitido e os valores de temperatura coletados, sendo alimentado com uma tensão de +5 V. A coleta dos sinais referentes à UR foi feita utilizando o sensor HIH-4000 da *Honeywell International Inc*, o qual funciona em uma faixa de 2% a 100%, emitindo um sinal correspondente de 0 a 4 Vcc, com alimentação de +5 V, o que possibilita sua conexão direta ao pino do conversor A/D do microcontrolador. A Figura 7 mostra o encapsulamento e a pinagem dos sensores de t_{bs} (a) e UR (b) utilizados na montagem do *hardware*.

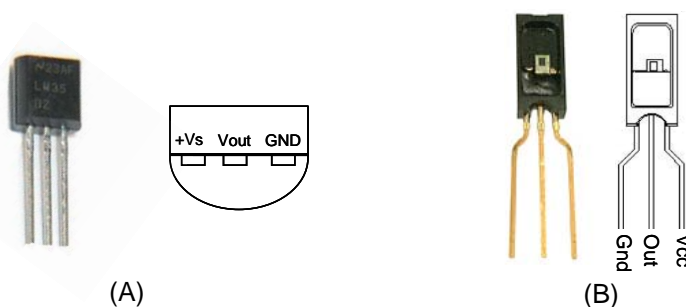


Figura 7 - Encapsulamento dos sensores de temperatura de bulbo seco LM35 (A) e de umidade relativa HIH 4000 (B). *Encapsulation of sensors of LM35 dry bulb temperature (A) and air relative humidity HIH 4000 (B).*

Para o funcionamento correto de coletas dos sinais dos sensores LM35, foi configurado o conversor analógico-digital (AD) do microcontrolador para converter um sinal analógico, geralmente de 0 a 5 Vcc, em equivalentes digitais. De acordo com *data sheet* do PIC18F4520, algumas configurações permitem ainda que os pinos AN2 e AN3 sejam usados como referência externa positiva e negativa, fazendo com que uma leitura seja feita em uma faixa de tensão mais restrita, ou seja, por exemplo, de 1 a 3 Vcc. Para este trabalho, foi utilizado como referência 0 a 5 Vcc.

O *software* do controlador automatizado foi ajustado para resolução de 10 *bits*. Para um conversor A/D com resolução de 10 *bits* e tensão de referência-padrão de +5 V, o valor de cada *bit*

será igual a $5/(2^{10} - 1) = 4,8876$ mV, ou seja, para um resultado igual a 100 (decimal), tem-se uma tensão de $100 * 4,8876$ mV = 0,48876 V. Dessa forma, a tensão de referência-padrão (V_{ref}) depende da tensão de alimentação do microcontrolador que, normalmente, é +5 V. Para o caso em que a tensão for +4 V, logo a tensão de referência (V_{ref}) também será +4 V.

O acionamento dos atuadores para operar o sistema de climatização, buscando garantir boas condições térmicas para as aves, foi feito automaticamente pelo *software* embarcado em microcontrolador através das variáveis ambientais t_{bs} , t_{gn} e UR e por meio de sensores programados para coletar variações em intervalos de 3,0 μ s.

Software

O software desenvolvido para este trabalho foi feito na linguagem C, utilizando o compilador da MikroC PRO for PIC versão 5.01 (Demo) (MIKROELEKTRONIKA, 2011). A Figura 8 mostra o fluxograma simplificado para o controle da t_{bs} , e a Figura 9, a UR dos algoritmos contendo as instruções do programa embarcado no microcontrolador PIC18F4520 simulado e implementado.

As Figuras 8 e 9 mostram a rotina de acionamento dos equipamentos em função das respostas dos sensores de t_{bs} e t_{gn} , por meio do sensor LM35, e UR, por meio do sensor HIH4000. Os sensores foram instalados no interior dos dois túneis, à altura dos pintainhos,

para mensurar as variações térmicas ao nível dos animais. A aquisição de dados foi feita pelo software desenvolvido e embarcado no microcontrolador PIC que, após cada 3,0 μs , mostra no display os valores de t_{bs} ($^{\circ}C$), UR (%) e ITGU.

Para os casos em que a t_{bs} atingiu valor inferior ou superior aos limites preestabelecidos, ou seja, qualquer valor abaixo ou acima da t_{ref} para a primeira semana de vida das aves, será acionado o 1^o e 2^o estágios do sistema de aquecimento, demonstrados no teste através do acionamento de LEDs e abertura na parte superior de cortinas, para os casos de calor intenso, respectivamente.

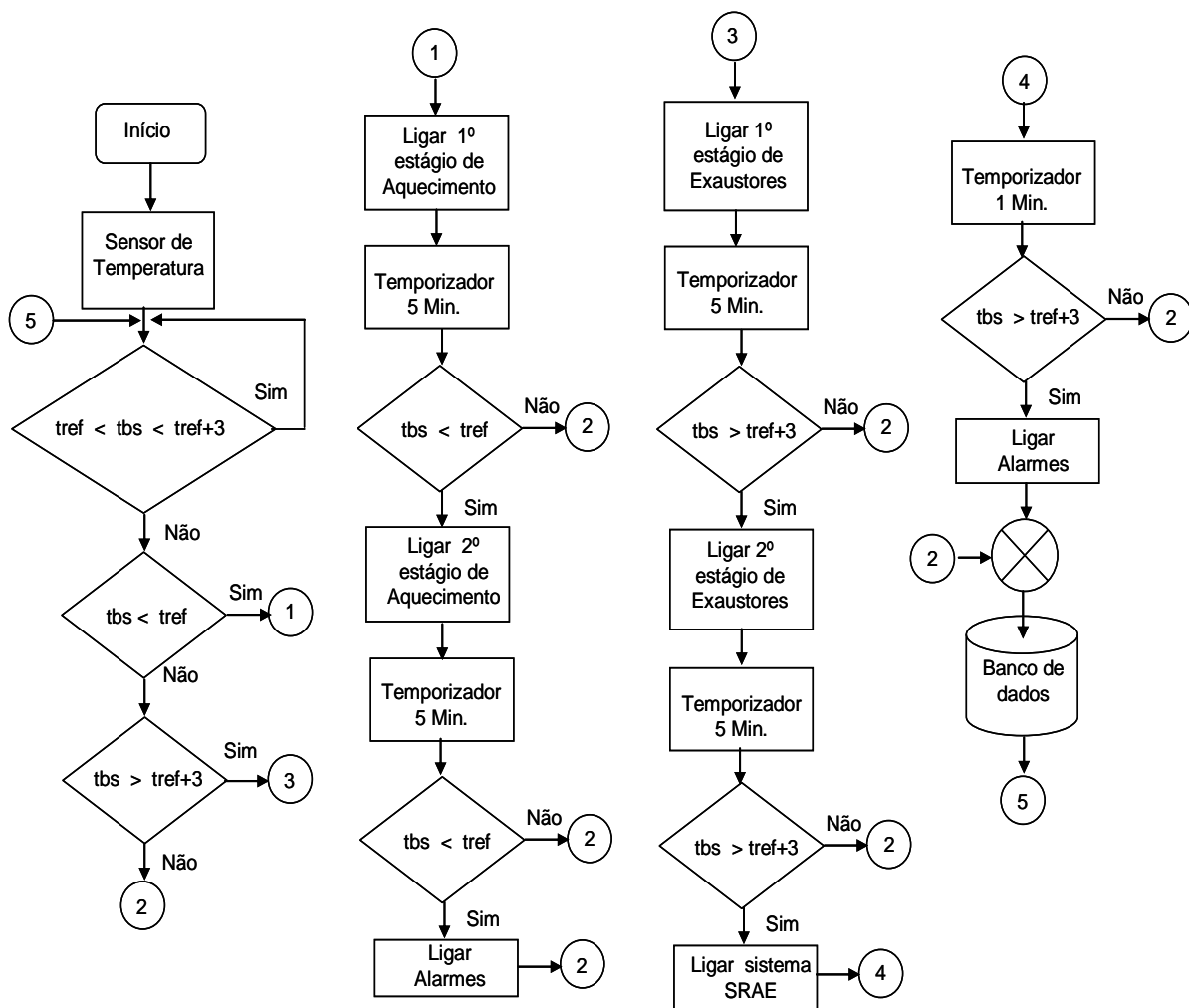


Figura 8 - Fluxograma simplificado para controle da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}). *Simplified flow diagram for the control of the dry bulb temperature (t_{bs}).*

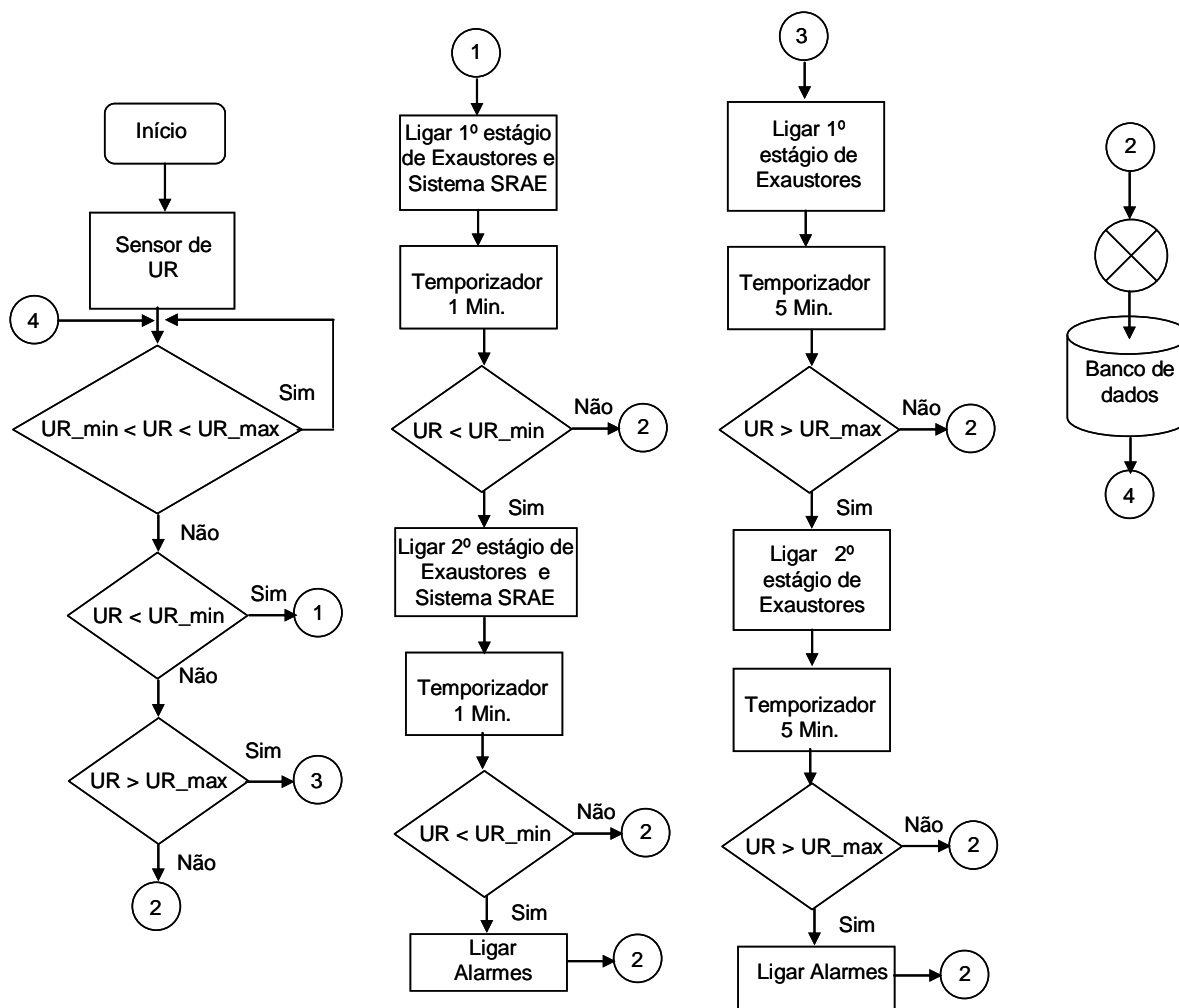


Figura 9 - Fluxograma simplificado para controle da umidade relativa do ar (UR). *Simplified flow diagram for the control of air relative humidity (UR).*

Para esta fase de idade das aves, o sistema de controle automatizado foi programado para não acionar nenhum equipamento de ventilação nem SRAE, apenas o sistema de aquecimento e os alarmes.

Resultados e discussão

Os resultados apresentados nas Figuras 10 (A) e (B) mostram as curvas referentes aos valores da variação do erro entre os valores de referência coletados nos túneis de vento climatizados 1 (Túnel 1) e 2 (Túnel 2), e o controlador automatizado, para o controle dos parâmetros climáticos desenvolvido e implementado para a variável t_{bs} (°C) através dos sensores, sensor 1 (t_{bs1}) e sensor 2 (t_{bs2}).

Os valores da t_{bs} registradas pelos sensores do controlador automatizado, durante todo o tempo de observação para a primeira

semana de vida das aves, ficaram dentro das faixas limites recomendadas por CONY & ZOCHE (2004), MEDEIROS et al. (2005), OLIVEIRA et al. (2006), COBB, (2010) e CORDEIRO et al. (2010), entre 30 a 33 °C. A validação destes resultados foi percebida pelo acionamento do 1º e 2º estágios do sistema de aquecimento através do acionamento de LEDs, ao detectar valores de t_{bs} inferiores aos de referência (t_{ref}), e o acionamento do 1º e 2º estágios dos exaustores e SRAE, para valores de t_{bs} superiores aos de referência (t_{ref}), preestabelecidos conforme rotina de acionamento da Figura 8.

Verifica-se, pelos resultados apresentados nas Figuras 10 (A) e (B), que a variabilidade estatística do erro entre os valores de Túnel 1 / t_{bs1} e Túnel 2 / t_{bs2} , para o período de observação, foi avaliada pela variância, que foi

de 0,045243 para o túnel 1 e 0,05151 para túnel 2, cujos intervalos de confiança ficaram entre $P[0,03428 < \sigma^2 < 0,06681] = 95\%$ para túnel 1 e $P[0,03903 < \sigma^2 < 0,07606] = 95\%$ para túnel 2. Dessa forma, as variabilidades para os dois experimentos ficaram entre estes dois valores, com 95% de nível de confiança. Pela análise da variabilidade estatística do erro, observa-se que as variabilidades percentuais entre Túnel 1 / t_{bs1} e Túnel 2 / t_{bs2} ficaram próximas de zero. Pela

análise destes resultados, pode-se afirmar que elas são constantes e que se aproximam da média, que foi de 1,36% para o Túnel 1 e 1,22% para o Túnel 2. Dessa forma, observa-se que as variações de t_{bs} (Túnel 1) foram acompanhadas pelas variações do sensor 1 (t_{bs1}) do protótipo do controlador implementado, com média de 0,0122, e pelas variações do sensor 2 (t_{bs2}), com média de 0,0136 para o intervalo de observação.

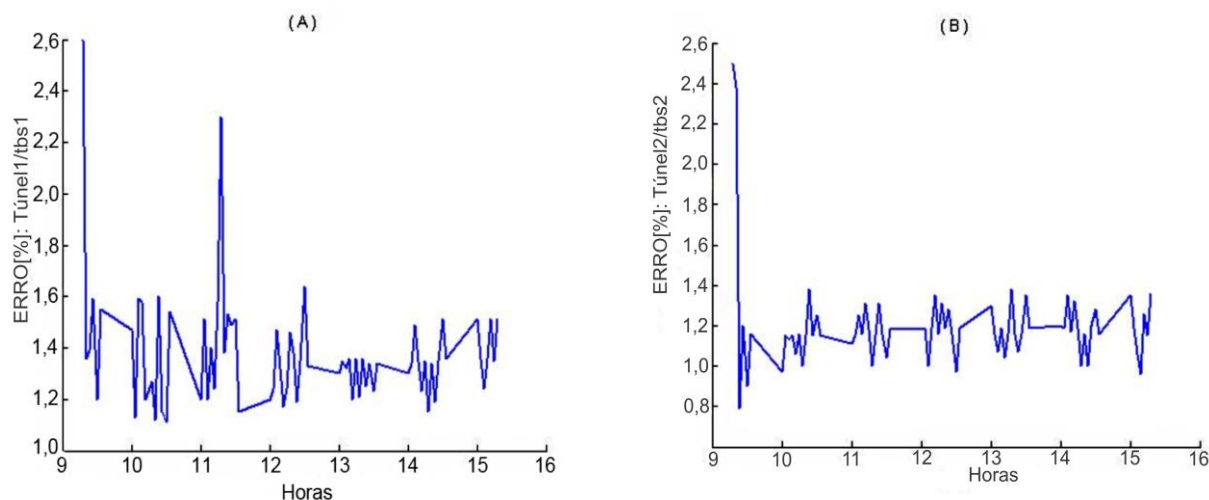


Figura 10 - Variação estatística do erro entre os valores medidos da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) ($^{\circ}\text{C}$) nos túneis de vento climatizados 1 (A) e 2 (B), versus variação da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) ($^{\circ}\text{C}$) medida pelo controlador desenvolvido (t_{bs1} e t_{bs2}). *Statistical variation of the error of the measured dry bulb temperature (t_{bs}) ($^{\circ}\text{C}$) in the acclimated wind tunnels 1(A) and 2 (B) versus the variation of the dry bulb temperature measured by the developed controller (t_{bs1} and t_{bs2}).*

Os resultados demonstram que o protótipo foi capaz de manter estabilizado o controle da temperatura por meio do sensor LM35 para o período observado.

Pela análise dos resultados mostrados nas Figuras 11 (A) e (B), verifica-se que os valores da UR registrados pelos sensores dos túneis de vento climatizados 1 (UR1) e 2 (UR2), e pelos sensores da UR (sensor 1 e sensor 2) do protótipo do controlador, durante o tempo de observação, tendo em vista a primeira semana de vida das aves, ficaram dentro das faixas limites recomendadas por MEDEIROS et al. (2005), OLIVEIRA et al. (2006), COBB, (2010) e CORDEIRO et al. (2010), de 58,81% a 60,76% no Túnel de vento climatizado 1 e de 58,53% a 61,30% no Túnel 2. A verificação de funcionamento do protótipo foi avaliada pelo acionamento do 1^o e 2^o estágios dos sistemas de aquecimento e o sistema de alarmes visual e sonoro para os casos em que a anormalidade persistiu, conforme rotina de acionamento da Figura 8. A validação do protótipo para o caso de

controle da UR (Figura 9) foi feita apenas em regime de simulação, em que a coleta dos dados foi feita nos túneis 1 e 2 para a segunda semana de vida das aves em diante, assegurando, assim, nenhum acionamento de ventiladores nem exaustores nos primeiros sete dias de vida das aves.

Pela análise estatística do erro para UR referente aos testes realizados nos túneis de vento climatizados 1 e 2, mostradas nas Figuras 12 (A) e (B), verifica-se também que as variabilidades entre os valores de UR1/Sensor 1 e UR2/Sensor 2, para todo o período de observação, foram avaliadas também pela variância, que foi de 0,076048 para o Túnel 1 e 0,13247 para Túnel 2, cujos intervalos de confiança ficaram entre $P[0,05762 < \sigma^2 < 0,11229] = 95\%$ para Túnel 1 e $P[0,10037 < \sigma^2 < 0,19562] = 95\%$ para Túnel 2. Estes resultados mostram que as variabilidades para os dois experimentos ficaram entre estes dois valores, com 95% de nível de confiança.

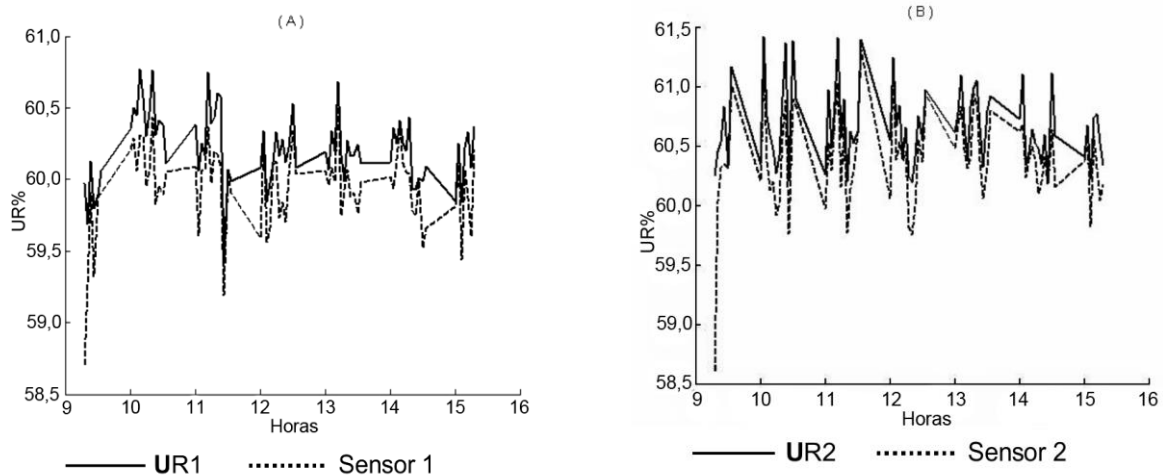


Figura 11 - Variação da umidade relativa (UR) medida nos túneis de vento climatizados 1 (A) e 2 (B) (UR1 e UR2), versus variação da UR medida pelos sensores do controlador desenvolvido (Sensores 1 (A) e 2 (B)). *Air relative humidity variation as measured in an acclimated wind tunnels 1 (A) and 2 (B) (UR1 and UR2) versus the variation in relative humidity (UR) as measured by the sensors of the developed controller (sensors 1(A) and 2(B)).*

Analisando-se a variabilidade estatística do erro pelas Figuras 12 (A) e (B) e pelos resultados obtidos, observa-se que as variabilidades percentuais entre UR1/Sensor1 e UR2/Sensor2 ficaram próximas de zero, sendo assim praticamente desprezíveis. Conclui-se assim que elas são constantes e que se aproximam da

média, que foi de 0,34% para o Túnel 1 e 0,33% para o Túnel 2. As variações da UR foram acompanhadas pelas variações do sensor 1 do protótipo do controlador com média de 0,0034 e UR2 pelas variações do sensor 2 com média de 0,0033 para todo o intervalo de observação dos testes.

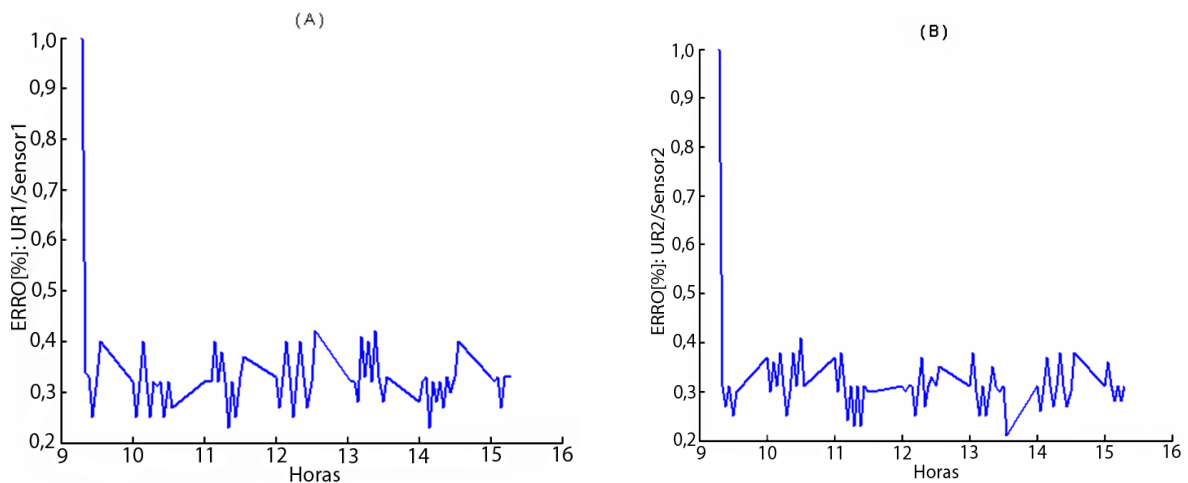


Figura 12 - Variação estatística do erro entre os valores medidos da umidade relativa (UR) nos túneis de vento climatizados 1 (A) e 2 (B) (UR1 e UR2), versus variação da umidade relativa (UR) medida pelos sensores do controlador desenvolvido (Sensores 1 (A) e 2 (B)). *Statistical variation of the error of the measured values of relative humidity (UR) as measured in the acclimated wind tunnels 1 (A) and 2 (B) (UR1 and UR2) versus the variation in relative humidity values as measured by the sensors of the developed controller (Sensors 1 (A) and 2 (B)).*

Por meio do sensor HIH 4000, foi possível ao protótipo manter estabilizado para todo o período de observação o controle da UR, conforme resultados analisados.

Os resultados apresentados na Figura 13 (A) mostram a variação do ITGU em função dos valores coletados pelos sensores t_{bs1} , t_{gn1} e UR1 do protótipo. Analisando a Figura 13 (B), verifica-se que a variabilidade entre os valores de referência do ITGU medido no Túnel 1 e os valores do ITGU medido pelo protótipo do controlador, para o período de observação, foi avaliado também pela variância, que foi de 0,11367, cujo intervalo de confiança ficou entre $P[0,08613 < \sigma^2 < 0,16785] = 95\%$. Este resultado mostra que a variabilidade ficou entre estes dois valores, com 95% de nível de confiança. Pela análise da variabilidade estatística do erro, verifica-se que a variabilidade percentual entre os valores de referência de ITGU medido no Túnel 1 e o ITGU medido pelo protótipo do controlador é praticamente desprezível, ficando próxima de zero, sendo

assim constante, aproximando-se da média, que foi de 0,20%. Estes resultados confirmam que as variações do ITGU medido pelo protótipo foram acompanhadas pelas variações do ITGU medido no Túnel 1, com média de 0,0020 para todo o intervalo de observação dos testes.

A eficiência do controlador automatizado construído pode ser confirmada pelos resultados apresentados nas Figuras 13 (A) e (B), que mostram que o sistema implementado foi capaz de manter estabilizado o controle do ITGU por meio da coleta de dados através das variáveis t_{bs1} e t_{gn1} , via sensor LM35, e UR pelo sensor HIH 4000, para todo o período observado.

Pela análise dos resultados mostrados na Figura 13 (A), verifica-se também que os valores de pico para o ITGU para todo o período de observação ficaram entre 74,6 e 76,26 (média de 75,31) que são considerados confortáveis para aves até o sétimo dia de vida (MEDEIROS et al., 2005; FURTADO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006).

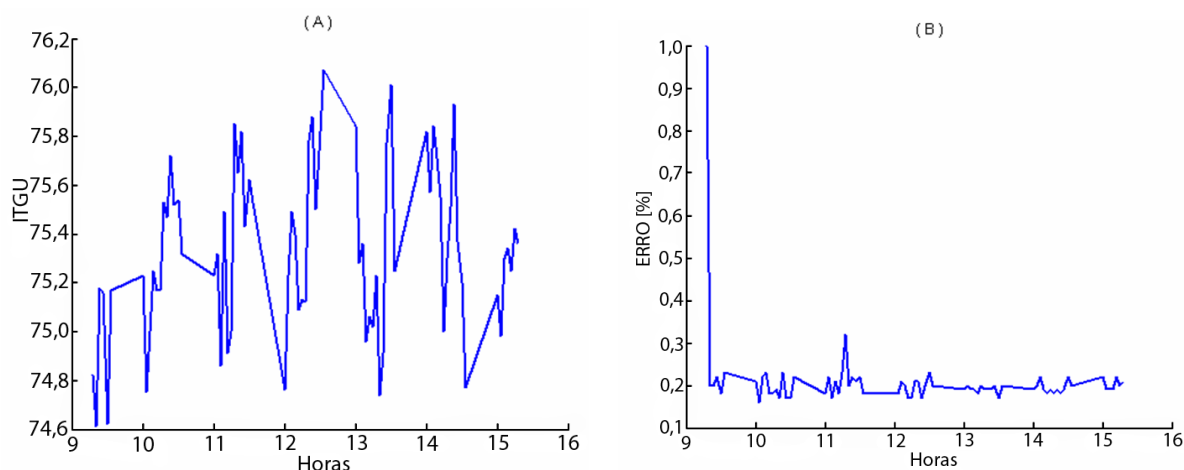


Figura 13 - Variação do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ao longo do tempo (A) e variação percentual do erro (B). *Black globe temperature index and humidity (ITGU) variation along time (A) and the percent variation of error (B).*

Conclusões

O sistema automatizado embarcado em microcontrolador, composto de *hardware* e *software*, desenvolvido para supervisão dos parâmetros climáticos e controle de equipamentos de ambiência para o interior de galpões de criação de frangos de corte mostrou-se tecnicamente viável, além de ser de baixo custo.

Os resultados obtidos com o controlador automatizado, desenvolvido e implementado para este trabalho de pesquisa, mostram

que é uma alternativa eficiente e de fácil implementação.

Referências

ALVAREZ CABRERA, A. A.; FOEKEN, M. J.; TEKIN, O. A.; WOESTENENK, K.; ERDEN, M. S.; SCHUTTER, B.; VAN TOOREN, M. J. L.; BABUŠKA, R.; VAN HOUTEN, F. J. A. M.; TOMIYAMA, T. Towards automation of control software: A review of challenges in mechatronic design. *Mechatronics*, Oxford, v.20, n.8, p.876-886, 2010.

- ARTIMAR. **Eletrônicas Ltda.** Disponível em: <<http://www.artimar.com.br/fabricantes-microchip.asp>>. Acesso em: 15 fev. 2012.
- CARVALHO, V. F.; YANAGI JUNIOR, T. Y.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; SILVA, M. P. Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p.358–366, 2009.
- COBB. **Broiler Management Guide, 2010.** Disponível em: <<http://www.cobb-vantress.com/Publications/GeneralPublications.aspx>>. Acesso em: 20 jan. 2012.
- CONY, A. V.; ZOCHE, A. T. Manejo de frango de corte. In: MENDES, A. A.; NÁAS, I. A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte.** Campinas: FACTA, 2004. p.117–136.
- CORDEIRO, M. B.; TINOCO, I. F. F.; SILVA, J. N.; VIGODERIS, R. B.; PINTO, F. A. C.; CECOM, P. R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.1, p.217-224, 2010.
- ERDEM, H. Implementation of software-based sensor linearization algorithms on low-cost microcontrollers. **ISA Transactions**, Pittsburgh, v. 49, n. 4, p. 552-558, 2010.
- FURTADO, D. A.; DANTAS, R. T.; NASCIMENTO, J.W.B.; SANTOS, J. T.; COSTA, F. G. P. Efeitos de diferentes sistemas de condicionamento ambiente sobre o desempenho produtivo de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.484–489, 2006.
- IBRAHIM, D. PIC18F Microcontroller Series, **SD Card Projects Using the PIC Microcontroller.** Boston: Newnes, 2010, p.41-105.
- KIRAN, T. R.; RAJPUT, S.P.S. An effectiveness model for an indirect evaporative cooling (IEC) system: Comparison of artificial neural networks (ANN), adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and fuzzy inference system (FIS) approach. **Applied Soft Computing**, Índia, 2011. p.3525–3533.
- LABCENTER ELECTRONICS. **PROTEUS.** Disponível em: <<http://www.labcenter.com/index.cfm>>. Acesso em: 12 jul. 2011.
- MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINOCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECOM, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.4, p.277-286, 2005.
- MIKROELEKTRONIKA. **Development Tools.** Disponível em: <<http://www.mikroe.com/eng/products/view/7/mikroc-pro-for-pic/>>. Acesso em: 15 jul. 2011.
- NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, Amsterdam, 2010. p.57-69.
- OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n. 3, p. 797-803, 2006.
- ROCHA, H. P.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B. & SILVA, J. H. V. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p.1330–1336, 2010.
- SANTOS, P. A.; BAÊTA, F. C.; TINOCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECOM, P. R. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista Ceres**, Boa Vista, v.56, n.2, p.172-180, 2009.
- SEO, I.H.; LEE, I. B.; MOO, O.K.; KIM, H.T.; HWANG, H.S.; HONG, S.W.; BITOG, J.P.; YOO, J.I.; KWON, K.S.; KIM, Y.H.; HAN, J.W. Improvement of the ventilation system of a naturally ventilated broiler house in the cold season using computational simulations, **Biosystems Engineering**, Republic of Korea, 2009, p.106-117.
- SILVA, K. O.; MORAES, S. O. Desenvolvimento de um sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n.1, p.189-195, 2002.
- UBA - União Brasileira de Avicultura. Disponível em: <http://www.abef.com.br/ubabef/publicacoes_relatoriosanuaisuba.php>. Acesso em: 02 mai. 2012.

WILMSHURST, T. **Designing embedded systems with PIC microcontrollers**: principles and applications. United Kingdom: Elsevier, 2007. 556 p.

YANAGI JUNIOR, T. **Inovações tecnológicas na bioclimatologia animal visando aumento da produção animal**: relação bem estar animal x clima. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/ITBA/index.htm>. Acesso em: 26 mar. 2012.

ZERGER, A.; VISCARRA ROSSEL, R.A.; SWAIN, D.L.; WARK, T.; HANDCOCK, R.N.; DOERR, V. A. J.; BISHOP-HURLEY, G. J.; DOERR, E. D.; GIBBONS, P. G.; LOBSEY, C. Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v.12, n.5, p.303-316, 2010.