



PAULO DIAS DE ALECRIM

**SISTEMA EMBARCADO EM
MICROCONTROLADOR PARA O CONTROLE
DA CLIMATIZAÇÃO DE AVIÁRIOS DE CORTE**

LAVRAS – MG

2012

PAULO DIAS DE ALECRIM

**SISTEMA EMBARCADO EM MICROCONTROLADOR PARA O
CONTROLE DA CLIMATIZAÇÃO DE AVIÁRIOS DE CORTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Doutor.

Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos

Coorientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Alecrim, Paulo Dias de.

Sistema embarcado em microcontrolador para o controle de climatização de aviários de corte / Paulo Dias de Alecrim. – Lavras : UFLA, 2012.

151 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Bibliografia.

1. Construções rurais. 2. Ambiência. 3. Conforto térmico. 4. Controlador *fuzzy*. 5. Equipamentos para avicultura. 6. Instalações para aves. 7. Software e hardware. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 6 36.50831

PAULO DIAS DE ALECRIM

**SISTEMA EMBARCADO EM MICROCONTROLADOR PARA O
CONTROLE DA CLIMATIZAÇÃO DE AVIÁRIOS DE CORTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Doutor.

APROVADA em 10 de dezembro de 2012

Dr. Sérgio Martins de Souza	UFLA
Dr. Carlos Bernardes Rosa Júnior	IFMG – Campus Formiga
Dr. Adriano Geraldo	IFMG – Campus Bambuí

Dr. Alessandro Torres Campos
Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Coorientador

LAVRAS – MG

2012

*A DEUS,
aos meus queridos pais, José Alecrim e Francisca,
à minha querida esposa Ivane e aos meus filhos, pelo apoio incessante,
pela compreensão, paciência e amor
demonstrados nos momentos de dificuldade.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelas incontáveis bênçãos recebidas ao longo de minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alessandro Torres Campos pela orientação competente e por todo apoio recebido.

Ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras e ao IFMG *Campus* Bambuí pelos recursos oferecidos para a elaboração desta tese.

A minha eterna gratidão aos meus pais José Alecrim e Francisca Alecrim que abriram mão de muitos de seus recursos para proporcionar a mim os meus estudos.

À minha querida esposa Ivane Fonseca Alecrim, que sempre acreditou no meu potencial, agradeço por todo o amor, carinho e compreensão.

Aos meus filhos Evelyn Alecrim e Ericssen Alecrim pela confiança e amor a mim dedicados.

Aos colegas e amigos do curso de pós-graduação da UFLA, pelo companheirismo, paciência e amizade.

A todos os meus amigos que, de alguma forma, contribuíram nesta caminhada, meus sinceros agradecimentos.

“Para ser sábio é preciso primeiro temer a Deus, o SENHOR”

(Prov. 1:7-BLH)

RESUMO

As perdas ocorridas durante o processo produtivo na avicultura de corte, provenientes de instabilidades dos parâmetros climáticos, têm acarretado um aumento considerável no preço do produto final. Modelar o comportamento das diversas variações decorrentes das mudanças do ambiente térmico e desenvolver equipamentos que mantenham o conforto térmico para aves a partir de suas respostas ao ambiente, de forma automatizada, constituem grandes desafios para a área de ambiência. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um controlador *fuzzy* embarcado em microcontrolador PIC composto por *software* e *hardware* para controle e supervisão do ambiente térmico em galpões de frangos de corte. O trabalho foi desenvolvido nas seguintes etapas: análise computacional por meio de simulação; avaliação do *software* e do *hardware* desenvolvidos por meio de teste do equipamento em experimento com frangos de corte da linhagem Cobb 500, idade de 1 a 28 dias, em galpão experimental localizado na região de Bambuí, MG. O protótipo mostrou-se apto a operacionalizar, de forma automática, o controle de equipamentos para ambiência para aviários e supervisão de variáveis meteorológicas.

Palavras-chave: Ambiência. Conforto térmico. Construções rurais. Controlador *fuzzy*. Equipamentos para avicultura. Instalações para aves. *Software* e *hardware*.

ABSTRACT

Losses occurring during the production process in the poultry industry, from instabilities of climatic parameters, have caused a considerable increase in the price of the final product. Modeling the behavior of different variations resulting from changes in the thermal environment and develop equipments that keeps a thermal comfort for birds from their responses to the environment, in an automated way, constitutes great challenges in the area of ambiance. So, the aim of the present work is developing a fuzzy controller embedded in a PIC microcontroller composed of hardware and software for control and monitoring of the thermal environment in broiler sheds. The study was conducted in the following stages: analysis by computational simulation, software and hardware evaluation developed by testing the equipment in an experiment with broilers Cobb 500, age 1 to 28 days in experimental shed located in the region of Bambui, state of Minas Gerais, Brazil. The prototype proved able to operate, automatically, the equipment control for poultry ambience and supervision of meteorological variables.

Keywords: Environment. Thermal comfort. Rural buildings. Fuzzy controller. Equipment for poultry. Poultry facilities. Software and hardware.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE		
Figura 1	Encapsulamento TO-92 e pinagem do sensor de temperatura de bulbo seco (t_{bs}) e temperatura de globo negro (t_{gn})LM 35.....	33
Figura 2	Encapsulamento e pinagem do sensor de umidade relativa do ar (UR) HIH4000.....	34
Figura 3	Tensão de saída versus umidade relativa do ar (%)	35
Figura 4	PIC 18F45xx encapsulamento DIP.....	39
Figura 5	Pinagem do PIC18F4520 (40 pinos).....	40
Figura 6	Função de pertinência para a variável temperatura.....	45
Figura 7	Funções de pertinência para a variável peso.....	48
Figura 8	Função de pertinência triangular.....	50
Figura 9	Função de pertinência gaussiana.....	51
Figura 10	Função de pertinência trapezoidal.	52
Figura 11	Graus de pertinência de u aos conjuntos X_i	53
Figura 12	Configuração de um controlador <i>fuzzy</i> genérico.....	54
ARTIGO 1		
Figura 1	Sistema de controle climático genérico.....	69
Figura 2	Simulação dos sensores de temperatura do bulbo seco do ar (t_{bs}), temperatura do globo negro (t_{gn}) e umidade relativa UR.....	70
Figura 3	Simulação dos sensores de temperatura do bulbo seco do ar (t_{bs}), temperatura do globo negro (t_{gn}) e umidade relativa (UR)...	71
Figura 4	<i>Driver</i> (CI ULN2803).	72
Figura 5	<i>Drivers</i> e conjunto de atuadores.	72
Figura 6	Diagrama elétrico do controlador com PIC18F4520.....	74
Figura 7	Ajuste da temperatura de referência.....	75
Figura 8	Controlador automatizado montado em <i>protoboard</i>	76
Figura 9	Montagem do protótipo do controlador automatizado.....	77
Figura 10	Encapsulamento dos sensores de (a) temperatura de bulbo seco LM35 de (b) umidade relativa HIH 4000.....	78
Figura 11	Cooler e LEDs como atuadores.....	79
Figura 12	Fluxograma simplificado para controle da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}).....	80
Figura 13	Fluxograma simplificado para controle da umidade relativa do ar (UR).....	81

Figura 14	Varição estatística do erro entre os valores medidos da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (°C) nos túneis de vento climatizados 1 e 2 versus variação da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (°C) medida pelo controlador desenvolvido (t_{bs1} e t_{bs2})	82
Figura 15	Varição da umidade relativa (UR) medida nos túneis de vento climatizados 1 e 2 (UR1 e UR2) versus variação da UR medida pelos sensores do controlador desenvolvido (Sensores 1 e 2).....	84
Figura 16	Varição estatística do erro entre os valores medidos da umidade relativa (UR) nos túneis de vento climatizados 1 e 2 (UR1 e UR2) versus variação da umidade relativa (UR) medida pelos sensores do controlador desenvolvido (Sensores 1 e 2).	85
Figura 17	Varição do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ao longo do tempo (A) e variação percentual do erro (B)	86
ARTIGO 2		
Figura 1	Galpão experimental em alvenaria com tijolos furados e com muretas laterais (a); telhas de barro (b); cama de palha de arroz (c).....	96
Figura 2	Sistema de nebulização (a); distribuição dos boxes e ventiladores (b); Sistema de aquecimento por lâmpadas infravermelho (c); comedouro e bebedouro (d).....	97
Figura 3	Esquema de divisão da distribuição dos sensores, ventiladores e gaiolas. Unidade: m.....	98
Figura 4	Controlador fuzzy e suas conexões.....	98
Figura 5	<i>Datalogger</i> HOBO utilizado na coleta de dados.....	99
Figura 6	Montagem do protótipo do controlador <i>fuzzy</i> em circuito impresso.....	102
Figura 7	Fluxograma simplificado para o controle da temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de globo negro(t_{gn}) e umidade relativa do ar (UR).....	104
Figura 8	Boxplot para as temperaturas médias t_{bs} (A) (°C) e t_{bs} (ext) (°C) em função da idade das aves 1ª semana (A) e 2ª semana (B).....	108
Figura 9	Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) (°C), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) (°C), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) (°C), em função dos horários observados e estimativa do ITGU.....	110

Figura 10	Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) ($^{\circ}\text{C}$), em função dos horários observados e estimativa do ITGU.....	110
Figura 11	Boxplot para as temperaturas médias t_{bs} (A) ($^{\circ}\text{C}$) e t_{bs} (ext) ($^{\circ}\text{C}$) em função da idade das aves 3 ^a semana (A) e 4 ^a semana (B).	111
Figura 12	Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) ($^{\circ}\text{C}$), em função dos horários observados e estimativa do ITGU.....	113
Figura 13	Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) ($^{\circ}\text{C}$), em função dos horários observados e estimativa do ITGU.....	113
Figura 14	Valores médios observados e estimados da umidade relativa do ar UR (A) (%), UR (B) (%) e UR (ext) (%), em função dos horários.....	115
Figura 15	Valores médios observados e estimados da umidade relativa do ar UR (A) (%), UR (B) (%) e UR (ext) (%), em função dos horários.....	116

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE		
Tabela 1	Faixas de temperaturas ambientes consideradas confortáveis para frangos de corte.....	22
Tabela 2	Faixas de umidade relativa do ar consideradas confortáveis para frangos de corte	23
Tabela 3	Faixas de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) consideradas confortáveis para frangos de corte	28
ARTIGO 2		
Tabela 1	Base de regras do controlador <i>fuzzy</i> utilizado na simulação e implementação prática para as variáveis de entrada, Temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (°C) e de Umidade Relativa UR (%) e de saída “conforto térmico”, Muito baixa (MB), Baixa (B), Ideal (I), Alta (A), Muito alta (MA), Ruim (R), Médio (M), Bom (B).....	100
Tabela 2	Variáveis, umidade relativa (UR) e temperatura de bulbo seco (t_{bs}) fuzzyficadas para as 1 ^a , 2 ^a , 3 ^a e 4 ^a semanas de vida das aves	101
Tabela 3	Relação entre conforto térmico animal e as ações necessárias.....	106
Tabela 4	Valores médios de desempenho por ave do ganho de peso (GP), consumo de ração (CR), conversão alimentar (CA), valores de p e taxa de mortalidade manual (TM) e <i>fuzzy</i> (TF) observados 24h por dia durante 28 dias de vida das aves nos controles <i>fuzzy</i> (CF) e manual (CM) (Valores em Kg).....	117

LISTA DE SIGLAS

AD	Analógico-Digital
CA	Conversão Alimentar
CI	Circuito Integrado
CLPs	Controladores Lógico-Programáveis
CPU	Unidade Central de Processamento
CR	Consumo de Ração
CTR	Carga Térmica de Radiação
DSPs	Digital Signal Processing
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
FPGAs	Field-Programmable Gate Array
GP	Ganho de Peso
ITGU	Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
LED	Diodo Emissor de Luz
PA	Pressão Atmosférica
PDIP	Plastic Dual In – Line Package
PIC	Peripheral Interface Controller
PV	Pressão de Vapor
PVS	Pressão de Vapor de Saturação
PWM	Modulação por Largura de Pulso
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
SRAE	Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo
t_{bs}	Temperatura de Bulbo Seco
TM	Taxa de Mortalidade

t_{po}	Temperatura Ponto de Orvalho
t_{ref}	Temperatura de Referência
TRM	Temperatura Radiante Média
UR	Umidade Relativa do Ar
Vref	Tensão de Referência Padrão

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	O ambiente tropical	20
2.2	Conforto térmico ambiental para avicultura	21
2.3	Índices de ambiente térmico	24
2.3.1	Índice de temperatura e umidade (ITU)	25
2.3.2	Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)	27
2.4	Hardware para controle climático e seus periféricos	29
2.4.1	Sensores	30
2.4.1.1	Sensores de temperatura	31
2.4.1.2	Sensor de UR	33
2.4.1.3	Sensor de velocidade do vento	35
2.4.2	Microcontrolador PIC	36
2.5	Teoria da lógica <i>fuzzy</i>	40
2.5.1	Conceitos básicos	41
2.5.2	Conjuntos <i>fuzzy</i> Discretos ou Contínuos	42
2.5.3	Variáveis linguísticas	44
2.5.4	Regras <i>fuzzy</i>	46
2.5.5	Funções de pertinência	47
2.5.5.1	Funções de pertinência triangulares (<i>trimf</i>)	50
2.5.5.2	Funções de pertinência gaussianas (<i>gaussmf</i>)	51
2.5.5.3	Funções de pertinência trapezoidal (<i>trapmf</i>)	52
2.5.6	Avaliação de sistemas pelos controladores <i>fuzzy</i>	53
	REFERÊNCIAS	55
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO(S)	
	ARTIGO 1 SISTEMA AUTOMATIZADO, COM MICROCONTROLADOR, PARA CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE AMBIÊNCIA EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE	63
1	INTRODUÇÃO	66
2	MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1	Modelagem e simulação computacional	71
2.2	Montagem do protótipo do controlador	75
2.3	Software	79
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS	88

	ARTIGO 2 - SISTEMA FUZZY DE BAIXO CUSTO EMBARCADO EM MICROCONTROLADOR PARA CONTROLE E SUPERVISÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM GALPÕES PARA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE	91
1	INTRODUÇÃO	91
2	MATERIAL E MÉTODOS	94
2.1	Arquitetura do controlador <i>fuzzy</i> – <i>hardware</i>	96
2.2	Arquitetura do <i>software</i>	102
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
3.1	Processo de Defuzzyficação.....	106
3.2	Validação do protótipo do Controlador <i>fuzzy</i>	107
3.3	Avaliação do desempenho das aves.....	116
4	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	120
	ANEXOS	122

1 INTRODUÇÃO

Apesar de o segmento avícola ter sido fortemente afetado pela crise internacional devido aos registros de Influenza Aviária em plantéis da Europa, África e, principalmente, Ásia, o mundo produziu mais frango em 2011. Segundo levantamento do Departamento de avicultura dos Estados Unidos (USDA, 2012), a avicultura mundial em 2011 produziu 6,77% mais carne que em 2010, apesar da crise. Em 2011 o Brasil se consagrou o maior exportador de carne de frango do mundo com 40,25% do total, seguido pelos Estados Unidos com 30,28% e a União Europeia com 11,23% do total (FAWC, 2012; UBA, 2012).

Entre os elementos climáticos, os que afetam mais diretamente as aves são os elementos térmicos, representados principalmente pela temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar (t_{bs} e UR), respectivamente, influenciando diretamente o estado de conforto térmico ambiental (CARVALHO et al., 2009; MOURA et al., 2010; KIRAN e 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 da UR (YANAGI JUNIOR, 2006). De acordo com SANTOS et al. (2009), para que um ambiente seja considerado confortável é necessário que a ave não perca energia, seja para compensar o frio ou calor.

De acordo com os autores MEDEIROS et al. (2005), FURTADO et al. (2006) e OLIVEIRA et al. (2006), o conforto térmico das aves pode ser avaliado também pelo índice de temperatura de globo 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, está relacionado com uma faixa de t_{bs} que determina a zona do conforto térmico animal da primeira semana de vida ao abate, que é de 19 a 33°C, com UR entre

50 e 70% e ITGU entre 67 e 82, aproximadamente (CURTIS, 1983; ZULOVICH e DESCHAZE, 1990; FABRÍCIO, 1994). 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 índice ITGU entre 68 e 82 (MEDEIROS et al., 2005; FURTADO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006; AZAD et al., 2010).

As mudanças no perfil do empresário rural, forçado a migrar para um modelo empresarial de gestão da propriedade, trouxeram para o segmento avícola a necessidade de se controlar todas as etapas do processo produtivo. Os sistemas automatizados para controle do ambiente térmico 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 (BUENO e ROSSI, 2006; PALMIERI, 2009; SANTOS et al., 2009). 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 ambientais em tempo real e, portanto, a tomada rápida de decisões para proporcionar o conforto térmico ambiental aos animais.

Para avaliar sistemas com alto grau de aleatoriedade, como o conforto térmico de aves, baseado em análises empíricas de medidas fisiológicas, são necessários equipamentos e instrumentais específicos e ferramentas computacionais que possam garantir resultados confiáveis. Dessa forma, com base na teoria dos controladores *fuzzy* propostos por vários autores (AZEVEDO, 1999; AZEVEDO e SILVA, 1999; NASCIMENTO e YONEYAMA, 2008; BINGUL e KARAHAN, 2011; HAHN, 2011), tornou-se possível analisar as condições ambientais da avicultura de forma precisa e consistente. Essa ferramenta mostra-se inovadora e justifica sua utilização na avaliação da

eficiência de sistema de controle e supervisão automatizado dos parâmetros do ambiente térmico para a avicultura, como o proposto no presente trabalho.

Sistemas de automação e controle geralmente são construídos utilizando microcontroladores programáveis, que se caracterizam por incorporarem 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 utilizar microcontroladores é que estes 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 poderosa CPU (*Central Processing Unit*) capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos em um curtíssimo espaço de tempo (CABRERA et al., 2010).

Considerando a importância do controle dos parâmetros ambientais em galpão para criação de frangos de corte, trabalhos que objetivem desenvolver sistemas automatizados que proporcionem conforto térmico as aves do nascimento ao abate e economicamente viáveis devem ser incentivados. Desta forma, um grande campo de pesquisas se abre na busca do desenvolvimento de sistemas de controle e automação voltados para a melhoria da eficiência no controle dos parâmetros ambientais que resultem em confiabilidade operacional, redução dos custos e que proporcione garantia da continuidade do segmento avícola.

Diante do exposto, objetiva-se, com o presente trabalho, desenvolver e construir um controlador *fuzzy* automatizado, composto de *software* e *hardware* embarcado em microcontrolador, para o controle e supervisão dos parâmetros relacionados ao ambiente térmico, buscando proporcionar conforto para frangos de corte em instalações de confinamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Ambiente tropical

O extenso território brasileiro é caracterizado pela diversidade de relevos e pela dinâmica das correntes e massas de ar, que favorecem uma grande diversidade de climas entre regiões e até mesmo diferenças dentro de regiões. O Brasil possui mais de 60% de seu território situado entre a faixa denominada como tropical, ou seja, entre os paralelos de 23,5° de latitude norte (trópico de câncer) e sul (trópico de capricórnio), onde a temperatura do ar é predominantemente alta, em face da elevada radiação solar incidente. Para esta faixa a temperatura média é de 20°C, sendo na maior parte do ano superior a 28°C e para algumas regiões atingindo muitas vezes valores entre 35°C e 38°C. Próximo à linha do equador, a temperatura é mais alta e mais estável ao longo do ano, diferentemente do que ocorre nas regiões mais ao sul, onde as temperaturas são menores e instáveis (SILVA, 2001).

Segundo AHRENS (2005), o clima de certa região representa o acúmulo de eventos diários e sazonais do tempo. Contudo, o conceito de clima é bem mais abrangente, pois ainda inclui valores extremos do tempo, as ondas de calor no verão e períodos de frio no inverno. De acordo com PEREIRA (2005), o clima é o fator ambiental que mais influencia o conforto térmico e a produtividade animal. Os índices climáticos causam efeitos diretos e indiretos nos animais, que refletem no desempenho produtivo. Nas regiões de clima tropical, o estresse térmico é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento dos animais (GREGORY, 2010).

Em climas tropicais, o fator principal de adaptação dos animais para a produção tem sido as altas temperaturas associadas a altos valores da umidade relativa do ar, que ocorrem em certas regiões do território brasileiro, o que reduz

a produtividade de algumas espécies estabelecidas, quando comparados aos níveis de produção em climas temperados (UBA, 2012). Dessa forma, de todos os fatores que afetam o ambiente, o clima é, sem dúvida, o mais importante, sendo que a eficiência produtiva e reprodutiva de qualquer animal se relaciona com estímulos aos ambientes onde vivem. Entretanto, existe para cada espécie uma faixa de condições ambientais, denominada zona de conforto térmico, na qual o animal apresenta os melhores resultados com menor gasto energético e mínimo esforço dos mecanismos termorregulatórios, possibilitando melhor conversão alimentar, rápido ganho de peso e redução da mortalidade (CURTIS, 1983).

2.2 Conforto térmico ambiental para avicultura

O sucesso na produção para frangos de corte só pode ser alcançado quando a ave estiver submetida a uma faixa de temperatura do ar (ou temperatura de bulbo seco - t_{bs}) confortável, na qual não ocorra nenhum desperdício de energia, tanto para compensar o frio, ou o calor (SILVA e NÃÃS, 2004). De acordo com vários autores (CURTIS, 1983; REECE et al., 1986; ESMAY e DIXON, 1986; TIMMONS e GATES, 1988), os limites sugeridos para frangos de corte adultos variam de 15°C a 25°C. Contudo, OLIVEIRA et al. (2006) citam a faixa de 21 a 33°C para frangos de corte da mesma idade, podendo oscilar de acordo com a sua constituição genética, idade, sexo, tamanho corporal, peso e região de criação das aves. A faixa de t_{bs} que proporciona conforto térmico exigido pelas aves muda de acordo com a idade.

Dessa forma, na primeira semana de vida, as aves necessitam t_{bs} mais elevada, entre 29 e 33°C, já para a segunda semana, entre 25 e 28°C (CONY e ZOCHE, 2004; MEDEIROS et al., 2005; OLIVEIRA et al, 2006; COBB, 2011). Conforme citado anteriormente, esta oscilação depende muito da região,

constituição genética, entre outras características pertinentes. Entretanto, a taxa metabólica, temperatura corporal, razão entre massa corporal e área superficial, isolamento de penas e as habilidades de termorregulação das aves são relativamente baixos. A Tabela 1 mostra as faixas de t_{bs} recomendadas, de acordo com a idade das aves.

Tabela 1 Faixas de temperaturas ambientes consideradas confortáveis para frangos de corte

Semanas (idade)	t_{bs} (°C) a 30 cm do piso
1ª semana	29,0 - 33,0
2ª semana	24,6 - 28,2
3ª semana	20,7 - 22,5
4ª semana	21,2 - 21,4
5ª semana em diante	21,0

Fontes: Oliveira et al. (2006).

Segundo ABREU (2003), na época do inverno, para as condições climáticas em diversas regiões do Brasil, principalmente na região sul, os valores de t_{bs} se encontram abaixo das faixas consideradas ideais para o conforto térmico de frangos de corte na primeira semana de vida. Para estas condições, se faz necessário o fornecimento de aquecimento suplementar para as aves, uma vez que os riscos de estresse por frio podem gerar deficiências no desenvolvimento, prejudicando a uniformidade e até levar à morte. Por outro lado, na época do verão, as temperaturas são bastante elevadas, características de regiões como a centro e nordeste do país. E para manter as aves dentro do seu conforto térmico é necessário o resfriamento do ambiente para as aves a partir do 21º dia de vida das mesmas (TINÔCO, 1996; CONY e ZOCCHÉ, 2004).

Outro fator climático de grande relevância na criação de aves é a Umidade Relativa do ar (UR), principalmente quando associada a elevados valores de t_{bs} . A UR e a t_{bs} possuem papel importante na dissipação de calor pelos animais (NÃÃS, 2005; SARTORI et al., 2001). Altos valores para t_{bs} e UR

são extremamente prejudiciais para a produção de frangos de corte, sendo que, no interior dos ambientes de criação os limites toleráveis de UR dependem da t_{bs} , do fluxo de vapor d'água oriunda dos animais, das fezes e do sistema de ventilação (ZULOVICH e DESHAZER, 1990; BAIÃO, 1995; BAÊTA e SOUZA, 1997; ZANOLLA, 1998;). De acordo com vários autores, (YOUSEF, 1985; CONY e ZOCHE, 2004; TINÔCO, 2004; MEDEIROS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; COBB, 2011), a UR considerada ideal para garantir conforto térmico aos animais e, conseqüentemente, o desempenho produtivo em aves de corte encontra-se na faixa de 50 a 70%. De acordo com abordagem de MOURA (2001) e citado também por MOURA et al. (2010), UR em níveis abaixo de 40% na fase de aquecimento pode aumentar a concentração de poeiras no interior das instalações zootécnicas, favorecendo, dessa forma, a dispersão de vírus e bactérias. Valores acima de 80%, associados a altas t_{bs} , provocam aumento de fezes aquosas em aves adultas e conseqüentemente o aumento de concentração de gases. A Tabela 2 mostra as faixas para UR de acordo com a idade das aves.

Tabela 2 Faixas de umidade relativa do ar consideradas confortáveis para frangos de corte

Semanas (idade)	UR (%) a 30 cm do piso
1ª semana	51,0 - 57,5
2ª semana	60,1 - 68,7
3ª semana	66,7 - 70,2
4ª semana	67,2 - 71,2

Fontes: Oliveira et al. (2006).

A criação de frangos de corte em sistema de confinamento com alta relação de aves m^{-2} é afetada pela presença de gases, com a presença mais comum de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e amônia (NH₃), que é apontada como o gás principal a afetar a saúde das aves (LIMA et al., 2004). Dependendo da concentração de aves no interior das instalações

zootécnicas, a amônia é o poluente tóxico mais frequentemente encontrado, oriunda da decomposição microbiana do ácido úrico dos excrementos. Outros fatores, tais como atividade enzimática dos dejetos, modelo de ventilação e velocidade do vento no interior do galpão, contribuem na formação de gases poluentes (NÃÃS et al., 2005; NORTH e BELL, 1990).

De acordo com CURTIS (1983), a emissão de gás amônia pelos dejetos das aves provoca, primeiramente, irritação de mucosas dos olhos e das vias respiratórias e, posteriormente, quando cai na corrente sanguínea, possui efeito tóxico sobre o metabolismo fisiológico, provocando a redução da ingestão alimentar e a redução no ganho de peso, interferindo no bem-estar das aves. Segundo WATHES (1999), o valor máximo recomendado para amônia é de 20 ppm, valor limite para exposição contínua das aves em confinamento. Valor superior a este limite no ambiente avícola predispõe os animais a problemas respiratórios. Os problemas de saúde animal devido à amônia variam de acordo com a idade das aves e o grau de exposição e concentração do gás. Segundo CAFÉ e ANDRADE (2001), valores de amônia entre 50 e 100 ppm afetam a produção, provocando aumento da secreção lacrimal, traqueíte catarral, queratoconjuntivite e fotofobia.

2.3 Índices do ambiente térmico

O conforto térmico ambiental animal pode ser avaliado por diversos indicadores, entre eles, a observação criteriosa das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais ao estresse térmico (EL-HADI e SYKES, 1982). Os índices de conforto térmico, que podem ser determinados por meio de duas ou mais variáveis meteorológicas, são usados para avaliar o ambiente e procuram caracterizar, em uma única variável, o estresse a que os animais estão submetidos (NÃÃS, 1989; FABRÍCIO, 1994).

2.3.1 Índice de temperatura e umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU) é considerado o mais simples, por depender apenas de duas variáveis, a temperatura absoluta do ar denominada como t_{bs} e a UR. O ITU foi desenvolvido por THOM (1959) como um índice de conforto para humanos (equação 1) e citado também por DESHAZER e BECK (1988) (equação 2). Atualmente é um dos mais utilizados em trabalhos sobre conforto térmico para animais, embora vários autores já tenham demonstrado que este índice, por considerar apenas duas variáveis, apresenta limitação em representar de forma mais ampla as condições ambientais sob as quais os animais vivem. O ITU é calculado pelas equações 1 e 2 a seguir.

$$ITU = t_{bs} + 0,36 \cdot t_{po} - 330,08 \quad (1)$$

$$ITU = 0,6 \cdot t_{bs} + 0,4 \cdot t_{bu} \quad (2)$$

sendo:

$$t_{po} = f(t_{bs}, t_{bu}) \quad (3)$$

sendo:

t_{bs} , temperatura de bulbo seco, K;

t_{bu} , temperatura de bulbo molhado, K;

t_{po} , temperatura do ponto de orvalho, K.

$$t_{po} = \frac{1}{\frac{1}{273} - \ln\left(\frac{e}{611}\right) \cdot \frac{1}{5420}} \quad (4)$$

em que:

$$e = e_{su} - A \cdot P(t_{bs} - t_{bu}) \quad (5)$$

$$e_{su} = 610,78 \cdot 10^{5420 \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{t_{bu}} \right)} \quad (6)$$

sendo:

e , pressão de vapor d'água, PA;

e_{su} , pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo, Pa;

A , constante psicrométrica, $6,7 \cdot 10^{-4} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

P , pressão atmosférica, Pa.

Conforme o modelo proposto por WILHELM (1976), a temperatura do ponto de orvalho pode também ser calculada em função apenas da pressão de vapor d'água, em kPa, ou seja:

$$t_{po} = 6,983 + 14,38 \cdot \ln(P_v) + 1,0790 \cdot [\ln(P_v)]^2 \quad [^\circ\text{C}] \quad (7)$$

em que, P_v é a pressão de vapor d'água em kPa.

A umidade relativa do ar, segundo o modelo proposto pelo mesmo autor, pode ser calculada por:

$$UR = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (8)$$

onde, P_{vs} é a pressão de vapor na saturação e UR é a umidade relativa do ar.

Assim, a pressão de vapor na saturação, citada por LOPES et al. (2000), pode ser calculada por meio da equação 9, em função apenas da t_{bs} .

$$P_{VS} = 6,1078 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_{bs}}{237,3 + t_{bs}}} \text{ [mbar]} \quad (9)$$

onde, t_{bs} é a temperatura ambiente em °C, representada pela temperatura de bulbo seco.

2.3.2 Índice de temperatura do globo e umidade (ITGU)

Segundo BAÊTA e SOUZA (1997), são vários os índices existentes para quantificar e avaliar o ambiente térmico dos animais. Entretanto, nas condições ambientais em que os animais são submetidos à radiação solar, um dos indicadores mais precisos de estresse é o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), desenvolvido por BUFFINGTON et al. (1981). Esse índice foi desenvolvido baseado no ITU, mas utiliza a t_{gn} em substituição à t_{bs} . Dessa forma, o ITGU incorpora em uma única variável, t_{bs} , UR, velocidade do vento e radiação solar, na forma de t_{gn} , podendo ser calculado utilizando a equação 10.

$$ITGU = t_{gn} + 0,36 \cdot t_{po} - 330,08 \quad (10)$$

em que, t_{gn} e t_{po} são expressos em [K].

Dessa forma, o ITGU é calculado em função da t_{gn} , t_{bs} e t_{po} , que incorpora a pressão de vapor d'água e UR.

Medeiros et al. (2005) citam que altos valores de ITGU resultam em inibição do desenvolvimento produtivo das aves, o que é indesejável para indústria do segmento avícola.

De acordo com estudos realizados por vários autores (TEIXEIRA, 1983; FURTADO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006), os valores de ITGU entre 77 e 82 mostraram ser ideais para o conforto térmico para frangos de corte na

primeira semana de vida. Contudo, MEDEIROS et al. (2005) verificaram que valores de ITGU entre 80 e 86 mostraram ser adequados ao ganho de peso e conversão alimentar para a primeira semana de vida e, entre a quarta e quinta semana, os valores de ITGU entre 65 e 77 mostraram ser ideais para o conforto térmico das aves.

Objetivando a automação e controle do sistema climático em galpões de frangos de corte, se faz necessária a instalação de sensores que possam ler a t_{gn} , proporcionando assim a modelagem matemática, por meio de softwares, para o cálculo do ITGU. As faixas de variação do ITGU para a cadeia produtiva de frangos de corte consideradas confortáveis foram apresentadas nos estudos de vários autores (MEDEIROS et al., 2005; FURTADO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006), conforme Tabela 3.

Tabela 3 Faixas de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) consideradas confortáveis para frangos de corte

Semanas (idade)	ITGU
1ª semana	77,0 - 81,6
2ª semana	73,3 - 76,6
3ª semana	68,8 - 70,7
4ª semana	68,3 - 69,1
5ª semana	68,3 - 69,1

Fontes: Adaptado de MEDEIROS et al. (2005), FURTADO et al. (2006), OLIVEIRA et al. (2006).

De acordo com ESMAY (1974), outro indicador importante para a avaliação da condição ambiental é a carga térmica de radiação (CTR), definida em função da temperatura radiante média (TRM), que pode ser calculada pelas equações 11 e 12, respectivamente.

$$CTR = \sigma \cdot (TRM)^4 \quad [W \ m^{-2}] \quad (11)$$

onde:

σ , constante de Stefan Boltzmann, $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ K}^{-4}$

$$TRM = 100 \cdot \sqrt[4]{2,51 \cdot \sqrt{V} \cdot (t_{gn} - t_{bs}) + \left(\frac{t_{gn}}{100}\right)^4} \quad [\text{K}] \quad (12)$$

em que:

V , velocidade do vento, m s^{-1} .

2.4 *Hardware* para controle climático e seus periféricos

As mudanças no perfil do empresário rural, forçado a migrar para um modelo empresarial de gestão da propriedade, trouxeram para o segmento avícola a necessidade de um controle de todas as etapas do processo produtivo. Com isso cresceu a demanda por sistemas de controle e automação no setor avícola.

Os sistemas automatizados para controle do ambiente térmico 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. O processo de controle e monitoramento, além de manter o controle dos equipamentos de ambiência no interior da instalação, visa automatizar o registro de ocorrências num dado sistema, bem como alertar os operadores do aviário em caso de situações excepcionais. Com estes mecanismos de controle é possível, em tempo real, realizar uma maior variedade na aquisição de dados, bem como um maior número de componentes a serem monitorados. Dessa forma, é possível estabelecer uma melhor supervisão das tarefas rotineiras na granja com respostas em tempo real sobre as condições do ambiente térmico. De acordo com DALLY e WILLIAM (1993) e citado também por SILVA e MORAES (2002), a automação no controle e supervisão de

sistemas tem gerado grandes avanços, pois, por meio de sensores remotos é possível o acesso às condições climáticas em tempo real e, portanto a tomada rápida de decisões. Os dados obtidos podem ser empregados para estimar o nível de estresse dos animais, o teor de gases no interior do galpão, velocidade do vento, entre outros parâmetros.

Diversas tarefas rotineiras de um galpão de frangos podem ser controladas por meio da automação. É possível também a execução de tarefas que antes eram difíceis ou impossíveis de serem realizadas. Em face da complexidade destes sistemas, é exigido maior grau de controle e maior quantidade de informações acerca do sistema monitorado (SILVA e MORAES, 2002; SEO et al., 2009).

Um sistema de controle e automação ideal deveria possibilitar a coleta de informações por meio de diversos sensores e dispositivos para aquisição e controle de dados, com características para processar e armazenar informações.

2.4.1 Sensores

De acordo com ZERGER et al. (2010), sensor é um dispositivo eletrônico utilizado em sistemas de automação responsável em mensurar uma grandeza física e convertê-la em um sinal que possa ser lido e/ou interpretado por um observador ou por um instrumento. Sistemas automatizados são basicamente leitores automáticos de informações, que no caso são fornecidos pelos sensores por um sinal elétrico, proporcional à variação de grandezas físicas, tais como umidade relativa, temperatura do ambiente, intensidade luminosa, entre outros. Portanto, existem diversos princípios físico-químicos, que podem estar relacionados à diferença de sinal, dentre eles, a variação da resistência elétrica, seja devido à luminosidade ou temperatura, variação do teor de gases em um determinado ambiente, entre outros. A variação da temperatura

de uma junção bimetálica pode também afetar a diferença de potencial oferecida, caracterizando um termopar. Contudo, pequenas interferências, como a quantidade de vapor de água no ar, podem afetar o sinal de um dispositivo eletrônico, possibilitando uma relação entre um sinal elétrico e a umidade relativa do ar (BRAGA, 1996; PIRES et al., 2006).

2.4.1.1 Sensores de temperatura

Há diversos tipos de sensores de temperatura que podem ser utilizados para auxiliar na manutenção do controle térmico em galpões de frangos de corte. Atualmente, os modelos mais utilizados são os termopares, os termômetros de resistência e os sensores eletrônicos de estado sólido. O termopar é um transdutor que compreende dois pedaços de fios dissimilares, unidos em uma das extremidades, e que geram uma diferença de potencial entre duas junções, sendo uma a temperatura constante que serve como referência e outra a temperatura que se deseja medir (ZERGER et al., 2010).

Termômetros de resistência ou termoresistores são sensores de alta precisão e excelente repetibilidade de leitura. O seu funcionamento se baseia na variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Seu elemento sensor, na maioria das vezes, é constituído de platina com o mais alto grau de pureza e encapsulado em bulbos de cerâmica ou vidro. Os termoresistores, dentro de sua faixa de utilização, são mais precisos e estáveis que os termopares e, por serem protegidos com bulbo de vidro, são mais utilizados em ambientes industriais. (PIRES et al., 2006).

Os sensores eletrônicos de estado sólido são desenvolvidos utilizando circuitos integrados. Estes dispositivos podem ser programados externamente e conectarem diretamente com o equipamento de controle. O princípio de funcionamento dos sensores eletrônicos é semelhante ao dos termoresistores, ou

seja, ambos se baseiam no fato de que o comportamento dos materiais semicondutores são dependentes da temperatura. Por ser um circuito integrado, geralmente dispensa a utilização de componentes extras para seu funcionamento, o que facilita o seu emprego em sistemas de controle. Estes sensores fornecem em sua saída uma tensão diretamente proporcional à temperatura, cuja corrente varia de 4 a 20 mA, para temperatura variando de 0 a 100 °C (PIRES et al., 2006; ZERGER et al., 2010).

O sensor eletrônico de temperatura de precisão LM35 é produzido pela *National Semiconductor Corporation*, cuja tensão de saída é diretamente proporcional à temperatura na escala *Celsius*, sendo de 10 mV/°C. Este sensor dispensa calibração externa para fornecer com exatidão valores de temperatura com variações de $\pm 0,25$ °C ou até no máximo de $\pm 0,75$ °C dentro da faixa de temperatura de -55 °C a 155°C. A seguir são relacionadas as principais características apresentadas em seu *Datasheet*.

- Calibração diretamente em graus Celsius (°C);
- Tensão de saída é proporcional a temperatura (+ 10,0 mV/°C);
- Alta precisão (0,5 °C à 25°C);
- Gama de temperaturas: -55 °C a 155 °C;
- Opera com tensões entre 4 e 30 volts;
- Baixa corrente de alimentação (60 μ A);
- Não linearidade típica de $\pm 1/4$ °C;
- Baixa impedância de saída (0,1 ohm para carga de 1mA).

O LM35 apresenta relação linear entre o sinal emitido e os valores de temperatura coletados, sendo alimentado com uma tensão de +5V. A Figura 1 ilustra o encapsulamento do modelo TO-92 e a pinagem do sensor de temperatura LM35.

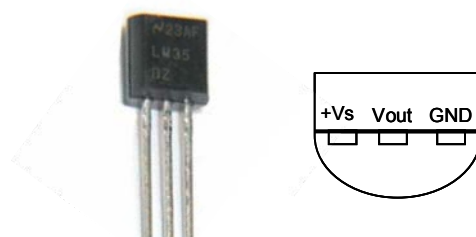


Figura 1 Encapsulamento do modelo TO-92 e pinagem do sensor de temperatura de bulbo seco (t_{bs}) e temperatura de globo negro (t_{gn}) LM35

Fonte: NATIONAL (2012).

2.4.1.2 Sensor de UR

Alguns materiais semicondutores variam sua resistência elétrica com a UR. Estes semicondutores possuem certo padrão específico de carga elétrica em suas moléculas e os níveis de energia entre elas são controlados mediante a umidade do ar. Estes materiais semicondutores são fabricados na forma de película delgada, depositada sobre os eletrodos que estão dispostos um ao lado do outro. A resistência entre os eletrodos varia com o nível de umidade do ar, pelo qual é possível medir a UR (BRAGA, 1996).

A umidade relativa do ar descreve a quantidade de vapor de água contida numa dada porção de atmosfera. A monitoração desse parâmetro é feita normalmente por psicômetros, higrômetros e registrada por higrógrafos, embora, atualmente, existam sensores eletroeletrônicos que também permitem o monitoramento da umidade instantânea ou contínua, quando o controle é feito por sistema de automação (ZERGER et al., 2010).

Uma alternativa para mensurar a UR de forma mais precisa é utilizar sensores digitais mais modernos. Esses sistemas oferecem muitas vantagens em relação aos sistemas analógicos, pois um sinal digital é menos sensível às interferências eletromagnéticas e, além disso, o protocolo de comunicação

estabelece mecanismo que permite detectar e corrigir erros de transmissão (ZERGER et al., 2010).

Entre os sensores digitais comerciais, que operam com precisão aceitável em sistemas de automação, inclui-se o HIH-4000, da *Honeywell International Inc*, o qual funciona em uma faixa de 2% a 100%, emitindo um sinal correspondente de 0 a 4Vcc, com alimentação de +5V, o que possibilita sua conexão direta ao pino do conversor A/D do microcontrolador. A Figura 2 ilustra o encapsulamento e a pinagem do sensor de UR HIH 4000.

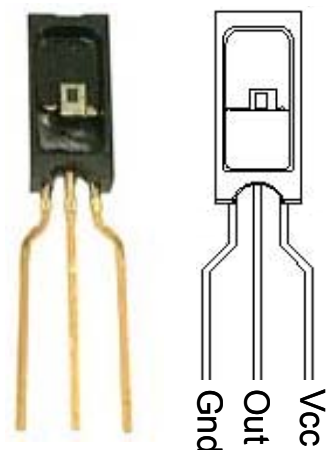


Figura 2 Encapsulamento e pinagem do sensor de umidade relativa do ar (UR) HIH 4000
Fonte: HONEYWELL (2012).

O HIH-4000 é um sensor de umidade relativa do ar com exatidão de 3,5% e faixa nominal de 100% em umidade relativa do ar sem condensação (25°C). O consumo de corrente máximo com alimentação em 5 V cc, é de 500 μ A, baixa perda por histerese (3%) e estabilidade de 0,2%. Este sensor possui saída linear com tensão versus umidade relativa (%) e opera na faixa de

temperatura de -40 a 85°C. A Figura 3 ilustra a variação da tensão de saída versus umidade relativa do ar(%).

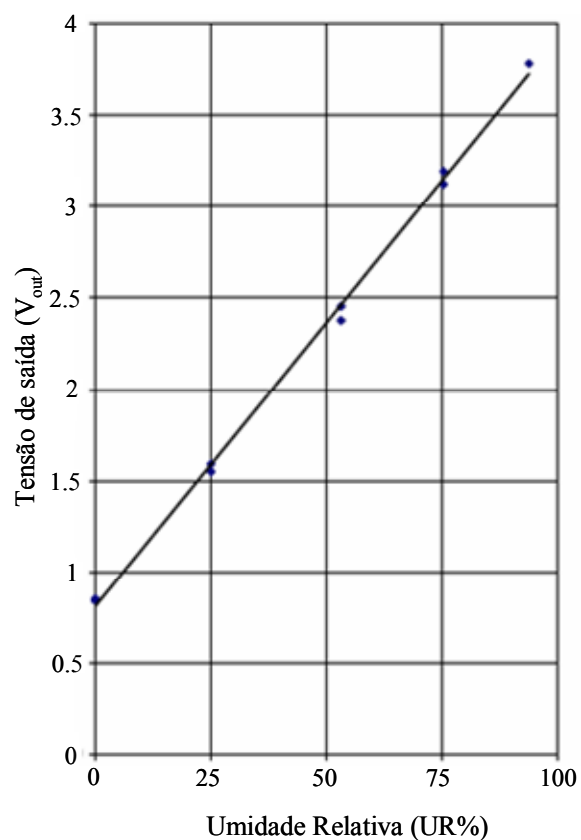


Figura 3 Tensão de saída versus umidade relativa do ar (%) relativa ao sensor HHH - 4000

Fonte: HONEYWELL (2012).

2.4.1.3 Sensor de velocidade do vento

A velocidade do vento, dependendo da idade das aves, poderá influenciar positivamente ou não na condição de conforto térmico dos animais, contribuindo ou não na manutenção de sua homeostase. Dessa forma, de posse das necessidades ambientais dos animais, clima local, pode-se, por meio de

monitoramento da velocidade do vento, manter as condições ótimas de conforto térmico das aves, por meio de controle e automação da velocidade do vento no interior dos galpões (MENEGALI, 2009).

Segundo BAÊTA e SOUZA (1997), a constante renovação do ar no interior das instalações zootécnicas permite a redução da transferência de calor da cobertura, do piso, paredes internas, facilitando as trocas de calor corporal por convecção e evaporação. A renovação do ar é necessária para eliminar o excesso de umidade do ambiente, gases provenientes da respiração das aves e dos excrementos, possibilitando a eliminação de odores e redução da mortalidade por contaminação (TINÔCO, 2001).

Segundo LLOBET e GONDOLBEU (1980), a velocidade máxima do ar recomendada para aves adultas é de aproximadamente $0,2 \text{ m s}^{-1}$ no inverno e $0,5 \text{ m s}^{-1}$ no verão. Contudo, esse limite pode ser menor para aves na primeira semana de vida, para evitar a ocorrência de doenças pulmonares (CURTIS, 1983). Estudos realizados também por YOUSEF (1985) e Medeiros et al. (2005), sobre a influência do ambiente térmico na produtividade de frangos de corte entre quarta e sexta semana de vida das aves, demonstraram que a velocidade do vento entre $0,5$ e $1,5 \text{ m s}^{-1}$ resultaram em maior desempenho e redução na mortalidade dos animais para esta idade. Por meio de sensores é possível monitorar a velocidade do vento no interior dos galpões desde a primeira semana de vida das aves até o abate.

2.4.2 Microcontrolador PIC

Atualmente, a maioria dos processos industriais é automatizada e funciona sem a supervisão humana. Como prova disto, os eletrodomésticos fazem quase todos os serviços especializados sozinhos, assim como ocorre nos caixas eletrônicos, nos atendimentos por comando de voz ou na indústria onde a automatização tem incrementado a produção e reduzido custos. Com o avanço

da tecnologia da microeletrônica e dos sistemas digitais, um dos dispositivos que vem cada vez mais ganhando espaço na automação pela sua versatilidade, aplicabilidade e funcionalidade são os microcontroladores (MORAES e CASTRUCCI, 2001; DALLY e WILLIAM, 1993).

De acordo com CABRERA et al. (2010), para que um sistema de automação e controle possa monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico com segurança, de forma automática e em tempo real, é necessário o uso de uma ou mais CPUs (*Central Processing Unit*) e *software* específico por onde será possível a programação das tarefas a serem executadas para o controle e supervisão de forma automatizado.

Dessa forma, definida a necessidade de se empregar um elemento processador no sistema, em função de custo e a complexidade do sistema de controle, basta definir qual plataforma utilizar. Comercialmente, há diversas plataformas disponíveis, entre elas, CLPs (Controladores Lógico-Programáveis), FPGAs (*Field-Programmable Gate Array*), DSPs (*Digital Signal Processing*), sistemas embarcados ou não, entre outras. Dessa forma, a escolha do centro de controle do sistema deve se dar a partir de um compromisso entre as diversas exigências do projeto e as características do elemento processador, como custo, capacidade de processamento, memória, linguagem de programação disponível, capacidade de atuar em sistemas de controle e automação em tempo real, consumo de energia, entre outras (ERDEM, 2010; IBRAHIM, 2010).

De acordo com ERDEM (2010), a grande vantagem de se utilizar microcontroladores é que estes chegam a custar muitas vezes menos que um simples semicondutor, um transistor, por exemplo, e, por se tratar de um circuito integrado (CI), possui uma poderosa CPU capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos em um curto tempo.

Em termos gerais, os microcontroladores se caracterizam por incorporar no mesmo encapsulamento (CI) um microprocessador, memória de programa e dados, interface de entrada/saída de dados e vários periféricos. Entre os periféricos estão temporizadores/contadores, *watchdog* programável, interface para comunicação serial, conversores A/D (Analogico/Digital), geradores de PWM, entre outros. Em síntese, são computadores com alto desempenho encapsulados em um único CI (WILMSHURST, 2007).

Os microcontroladores são geralmente programados na linguagem C, porém, podem ser utilizadas outras linguagens, tais como: pascal, basic, entre outras. Os microcontroladores são empregados na maioria dos dispositivos eletrônicos digitais, tais como: televisão, teclado de computador, máquina de lavar, celular, forno de microondas, relógio de pulso, rádio relógio, entre outros. Entre os vários tipos de microcontroladores existentes podem ser destacados os da família PIC, fabricados pela empresa americana *Microchip Technology*, a qual conta com extensa variedade de modelos com as mais diversas funcionalidades e aplicações.

O PIC da família 18F 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. A Figura 4 ilustra o encapsulamento DIP da família PIC 18F de 40 pinos.



Figura 4 PIC 18F45xx encapsulamento DIP
Fonte: MICROCHIP (2012).

Geralmente, os microcontroladores possuem pouca memória interna, fator que limita a sua utilização em grandes projetos. Contudo, o microcontrolador da família 18F possui uma quantidade de memória adequada à sua utilização na automação. O microcontrolador PIC18F4520, por exemplo, possui 13 entradas analógicas A/D de 10 *bits*, 32K de *Flash ROM (Read Only Memory)*, 256 *bytes* EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e 1536 *bytes* de RAM (*Random Access Memory*). A Figura 5 ilustra a pinagem do PIC18F4520, segundo ARTIMAR (2012).

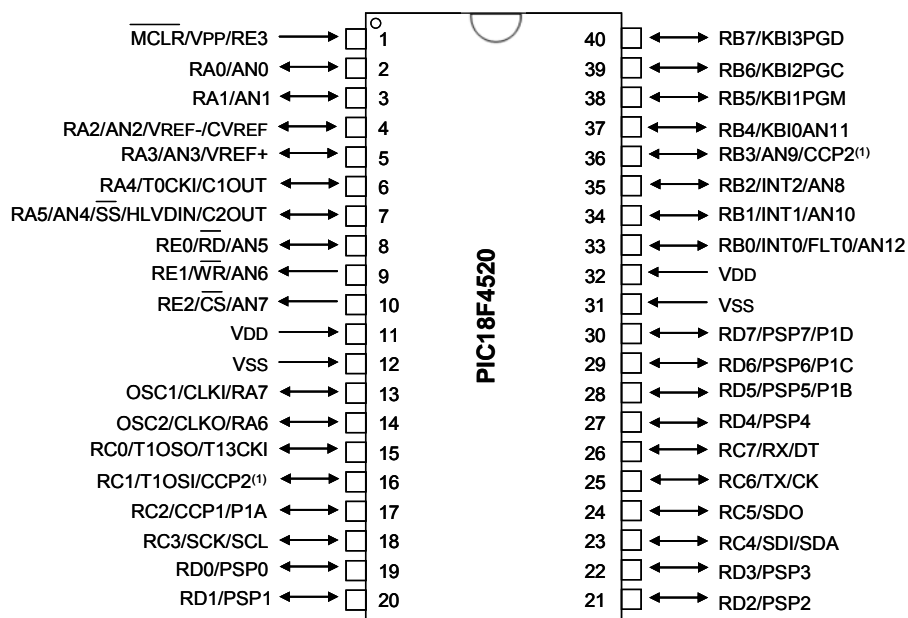


Figura 5 Pinagem do PIC18F4520 (40 pinos)
Fonte: MICROCHIP (2012).

Os microcontroladores se apresentam como uma das alternativas de menor custo, confiabilidade satisfatória, simplicidade, menor tempo de desenvolvimento, menor consumo de energia e possibilidade de utilizar uma linguagem de programação de alto nível.

2.5 Teoria da lógica *fuzzy*

O desenvolvimento da lógica *fuzzy* ocorreu com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*, proposta em meados da década de 1960, pelo professor do departamento de engenharia elétrica e eletrônica ZADEH (1965) da Universidade de Berkeley - California Estados Unidos. A motivação para a elaboração dessa teoria foi, em grande parte, pela convicção de que os métodos

tradicionais de análise eram inadequados para descrever sistemas nos quais as variáveis não estivessem relacionadas por equações diferenciais.

Os métodos tradicionais de análise são voltados para o uso de técnicas numéricas. Em contraste, na maioria das vezes a razão humana envolve o uso de variáveis cujos valores são conjuntos nebulosos (ou *fuzzy*). Essa observação foi a base para a introdução da variável linguística, isto é, uma variável cujos valores são palavras em lugar de números. Como exemplos podem ser citados alguns conceitos peculiares à linguagem humana: quente, morno, muito longe, mais ou menos próximo, quase impossível, improvável, meia idade, entre outros.

A lógica *fuzzy* é uma tecnologia da inteligência artificial computacional que gera regras diretamente de dados numéricos, e associa possibilidades a estas regras. A teoria da lógica *fuzzy* constitui-se numa ferramenta capaz de modelar problemas reais onde incertezas e imprecisões estão presentes.

2.5.1 Conceitos básicos

As seguintes definições foram citadas por vários autores (LEE, 1990; VON, 1995; BERKAN e TRUBATCH, 1997). Seja U uma coleção de objetos denotados genericamente por $\{u\}$, onde U é chamado de universo e u representa um elemento genérico de U . Um conjunto *fuzzy* F num universo U é caracterizado por uma função de pertinência μ_F que assume valores no intervalo $[0,1]$, ou seja:

$$\mu_F : U \rightarrow [0,1] \quad (13)$$

Um conjunto *fuzzy* F em U pode ser representado como um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico u e seu grau de pertinência μ_F na função:

$$F = \{(u, \mu_F(u)) / u \in U\} \quad (14)$$

Quando o universo é contínuo, o conjunto *fuzzy* \mathbf{F} costuma ser escrito concisamente como:

$$F = \int_U \mu_F(u) / u \quad (15)$$

Quando o universo \mathbf{U} é discreto, o conjunto nebuloso \mathbf{F} é representado como:

$$F = \sum \mu_F(u) / u \quad (16)$$

Os mesmos autores descreveram as seguintes definições:

- a) O conjunto suporte de um conjunto *fuzzy* \mathbf{F} é o subconjunto dos pontos \mathbf{u} de \mathbf{U} tal que $\mu_F(u) > 0$;
- b) Um conjunto *fuzzy* cujo conjunto suporte é um único ponto de \mathbf{U} com $\mu_F = 1$ é chamado de **conjunto *fuzzy* unitário** ou **singular**;
- c) Um **conjunto *fuzzy*** é **vazio** se, e somente se, sua função de pertinência for identicamente igual a zero, ou seja: $\mu_\phi(u) = 0, u \in U$

2.5.2 Conjuntos *fuzzy* Discretos ou Contínuos

Na teoria clássica dos conjuntos *fuzzy*, um conjunto *fuzzy* discreto é, em geral, expresso por meio dos elementos que compõem seu universo e do grau de pertinência de cada um desses elementos. (DUBOIS e PRADE, 1980).

As equações (17) e (18) mostram duas maneiras usuais para expressar um conjunto \mathbf{A} .

$$A = 0/(-3)+ 0/(-2)+ 0,1/(-1)+ 0,3/0+ 0,5/1+ 0,7/2+1,0/3+0,7/4+0,3/5+ 0/6 \quad (17)$$

ou

$$A = \{0/(-3);0/(-2);0,1/(-1);0,3/0;0,5/1;0,7/2;1,0/3;0,7/4;0,3/5;0/6\} \quad (18)$$

Os números localizados ao lado direito das barras são os elementos do universo. Os números da esquerda correspondem ao grau de pertinência de cada elemento do universo. Os sinais “+” não possuem o significado convencional usado em matemática. São apresentados a seguir exemplos relativos às definições descritas no item 3.5.1:

- a) Tomando-se o conjunto A apresentado acima, o conjunto suporte de A é dado por B, tal que:

$$B = \{0,1/(-1); 0,3/0; 0,5/1; 0,7/2; 1,0/3; 0,7/4; 0,3/5\} \quad (19)$$

- b) Considere-se o conjunto *fuzzy* C, dado pela equação (20):

$$C = \{0/(-1); 0/0; 0/1; 1/2; 0/3\} \quad (20)$$

C é um conjunto *fuzzy* unitário ou singular, pois seu conjunto suporte D é dado pela equação (21):

$$D = \{1/2\} \quad (21)$$

Um conjunto *fuzzy* contínuo é expresso por uma função matemática que relaciona os elementos do universo com seus graus de pertinência. A função dada pela equação (22) é um exemplo de representação de conjunto *fuzzy* contínuo:

$$\mu_A(u_i) = \frac{1}{1 + (0,2(u_i - 5)^2)} \quad (22)$$

Nesse exemplo, os elementos do universo são representados pela variável u_i . Os graus de pertinência são representados por $\mu_A(u_i)$.

2.5.3 Variáveis linguísticas

De acordo com ZADEH (1973), o emprego de conjuntos *fuzzy* permite tratar de forma sistemática um sistema pela manipulação de conceitos vagos e imprecisos. Dessa forma, usam-se conjuntos *fuzzy* na representação de variáveis linguísticas. Variáveis linguísticas ou variáveis *fuzzy* são a princípio, os elementos simbólicos utilizados para descrever o conhecimento.

Uma variável linguística possui a seguinte estrutura:

- Nome da variável;
- Predicados que identificam linguisticamente, diferentes regiões do universo;
- Função de pertinência para cada conjunto *fuzzy* designado por um predicado;
- Universo.

Seguindo este princípio, a variável linguística pode ser caracterizada, por uma quádrupla $(\mathbf{x}, \mathbf{T}(\mathbf{x}), \mathbf{G}, \mathbf{U})$, onde \mathbf{x} é o nome da variável; $\mathbf{T}(\mathbf{x})$ é um conjunto de predicados linguísticos de \mathbf{x} (esses termos estão associados a valores em \mathbf{U}); \mathbf{G}_i é a função de pertinência associada ao predicado \mathbf{i} ; e \mathbf{U} é o universo (LEE, 1990).

Considere-se um exemplo: se a temperatura x é interpretada como uma variável linguística, então o conjunto de termos $\mathbf{T}(\text{temperatura})$ pode ser:

$$\mathbf{T}(x) = \mathbf{T}(\text{temperatura}) = (\text{baixa}, \text{média}, \text{alta})$$

onde cada termo de $\mathbf{T}(x)$ é caracterizado por um conjunto *fuzzy* no universo U . Interprete **baixa** como uma temperatura inferior a cerca de 20 (°C), **média** como uma temperatura próxima a 25 (°C) e **alta** como uma temperatura superior a cerca de 35 (°C). Esses termos podem ser caracterizados por conjuntos *fuzzy* cujas funções de pertinência são mostradas na Figura 6 (ZADEH, 1972). *Crossover* representa o grau de pertinência no ponto de cruzamento entre dois conjuntos *fuzzy*.

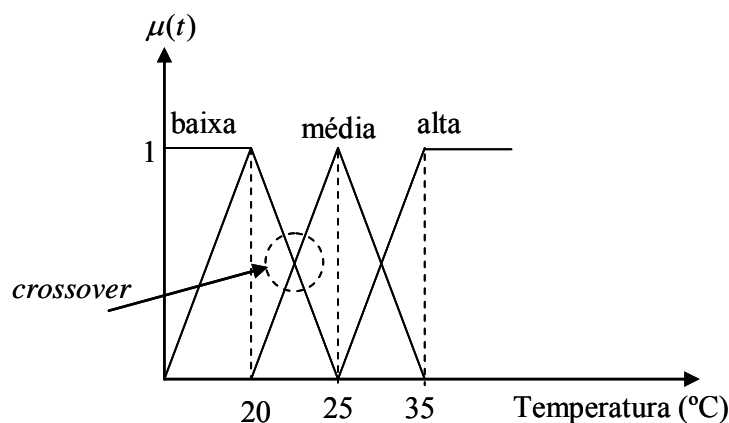


Figura 6 Função de pertinência para a variável temperatura
Fonte: ZADEH (1972).

No exemplo ilustrado pela Figura 6, têm-se três predicados *fuzzy* com a variável linguística “temperatura”: temperatura é baixa; temperatura é média; temperatura é alta. Esses termos podem ser caracterizados por conjuntos *fuzzy* cujas funções de grau de pertinência G_i são mostradas na Figura 6.

2.5.4 Regras *fuzzy*

Regra *fuzzy* ou afirmação *fuzzy* relaciona variáveis *fuzzy*, cada uma delas associada a um dos seus predicados. Tais variáveis são conectadas por meio de operadores lógicos como: **e**, **ou**, **então**, **outro**. Um algoritmo de controle é constituído por um conjunto de regras *fuzzy* que são declarações condicionais ou incondicionais, envolvendo relações entre entradas e saídas (ROSS, 1995). Dessa forma, um sistema que utiliza um controlador baseado em lógica *fuzzy* com duas entradas e uma saída, apresenta regras de controle *fuzzy* da seguinte forma:

Se **x** é **POSITIVO PEQUENO** e **y** é **ZERO** então **z** é **POSITIVO GRANDE**

As variáveis *fuzzy* **x**, **y** e **z** associadas respectivamente aos predicados **POSITIVO PEQUENO**, **ZERO** e **POSITIVO GRANDE**, estão relacionadas por meio dos conectivos **e** e **então**. Para um controlador *fuzzy* de duas entradas e uma saída, com *n*-regras, tem-se como *i*-ésima regra:

R_i: Se **x** é **A_i** e **y** é **B_i** então **z** é **C_i**

onde **x** e **y** são as variáveis linguísticas de entrada, **z** é a saída. **A_i**, **B_i** e **C_i** são predicados linguísticos das variáveis linguísticas **x**, **y** e **z** nos universos **U**, **V** e **W**, respectivamente, com **i** = **1**, ..., **n**.

Em um controlador *fuzzy*, cada regra de controle *fuzzy* está associada a uma relação *fuzzy* gerada por ela. O comportamento do sistema como um todo será caracterizado pelo conjunto das relações *fuzzy*.

2.5.5 Funções de pertinência

De acordo com HANSS (2005), um conjunto *fuzzy* é caracterizado por uma função de pertinência que assume valores no intervalo $[0,1]$. Contudo, na teoria de conjuntos clássica, a função de pertinência assume apenas os valores **zero** indicando que o elemento não pertence ao conjunto, ou **um**, indicando que o elemento pertence ao conjunto na teoria de conjuntos *fuzzy*, os elementos podem estar associados a graus de pertinência entre **zero** e **um** indicando que os mesmos podem pertencer parcialmente a um conjunto.

Dessa forma, qualquer função que associe valores entre zero e um a elementos de um dado conjunto, pode ser considerada como função de pertinência. Contudo, na escolha de tais funções, deve-se levar em conta o contexto em que estas serão utilizadas na representação das variáveis linguísticas. Dessa forma, tanto o número quanto o formato das funções de pertinência devem ser escolhidos de acordo com o conhecimento sobre o processo que se deseja pesquisar (ROSS, 1995).

Exemplificando a relevância deste contexto na definição de funções de pertinência e de sua distribuição ao longo de um dado universo, considere-se a variável linguística peso, constituída dos seguintes termos: $T(\text{peso}) = \{\text{baixo, médio, alto}\}$ (JANG et al., 1997).

A esses se faz corresponder conjuntos *fuzzy* A, B e C, respectivamente, definidos por suas funções de pertinência. A Figura 7 ilustra uma escolha possível de funções de pertinência:

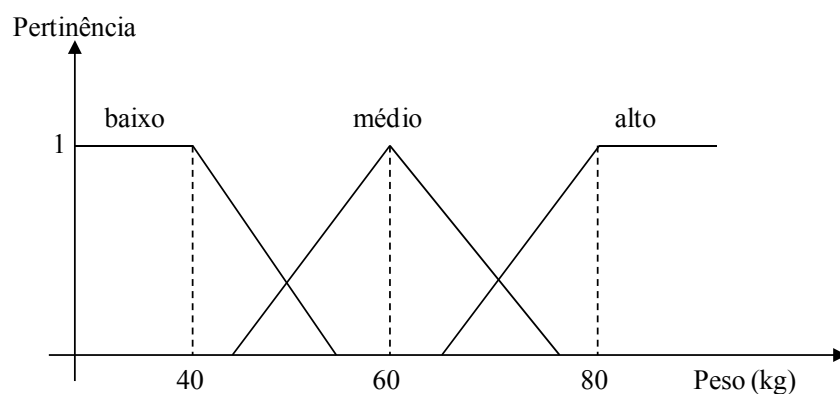


Figura 7 Funções de pertinência para a variável peso
Fonte: AZEVEDO (1999).

Na definição da Figura 7, peso de até 40 kg apresentam grau de pertinência igual a 1 no conjunto A; o grau de pertinência neste conjunto decresce à medida que o peso aumenta. Considera-se que uma pessoa pesando 60 kg é "totalmente compatível" com o conjunto B, ao passo que um peso acima de 65 kg (aproximadamente) apresenta grau de pertinência diferente de zero em C. Pesos com valores acima de 80 kg são "definitivamente" altos. Observe-se que, nesta definição das funções de pertinência, peso com valor em entorno de 60 kg possuem grau de pertinência diferente de zero somente no conjunto B, o que poderia parecer inadequado para alguns pesquisadores. Estes prefeririam que as funções de pertinência de A e B se interceptassem em 60 kg (com graus de pertinência nulos, a exemplo daquelas da Figura 6), por exemplo. Além disso, diferentes pessoas, ou grupos de pessoas, podem ter noções distintas a respeito dos pesos de seus semelhantes. Dessa forma, o contexto é particularmente relevante quando da definição de funções de pertinência.

Funções de pertinência podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva do pesquisador, mas é comum fazer-se uso de funções de pertinência padrão, como, por exemplo, as de forma triangular, trapezoidal e gaussiana. Em

aplicações práticas os modelos escolhidos inicialmente podem sofrer ajustes em função dos resultados observados.

Funções de pertinência contínuas podem ser definidas por intermédio de funções analíticas. Por exemplo, a seguinte função geral pode ser usada para definir as funções de pertinência associadas aos conjuntos *fuzzy* correspondentes aos termos MAGRO, MÉDIO e GORDO:

$$\mu_A(x) = (1 + (a(x - c))^b)^{-1} \quad (23)$$

A equação (23) correspondente a $\mu_A(x)$ pode ser modificada por meio da manipulação dos três parâmetros **a**, **b** e **c**, ou seja:

$$\mu_{MAGRO}(x) = (1 + 9x^2)^{-1} \quad (24)$$

$$\mu_{MÉDIO}(x) = (1 + 9(x - 0,5)^2)^{-1} \quad (25)$$

$$\mu_{GORDO}(x) = (1 + 9(x - 2)^2)^{-1} \quad (26)$$

Funções de pertinência descontínuas são compostas de segmentos contínuos lineares, resultando em formas triangulares ou trapezoidais. Funções de pertinência discretizadas consistem de conjuntos de valores discretos correspondendo a elementos discretos do universo. Por exemplo, se $x = \{0,1, 2,3,4,5,6\}$, uma representação possível seria:

$$\mu_{MAGRO}(x) = \{0,3; 0,7; 1; 0,7; 0,3; 0; 0\} \quad (27)$$

$$\mu_{MÉDIO}(x) = \{0; 0; 0,3; 0,7; 1; 0,7; 0,3\} \quad (28)$$

$$\mu_{GORDO}(x) = \{0; 0; 0; 0; 0,3; 0,7; 1\} \quad (29)$$

2.5.5.1 Funções de pertinência triangulares (trimf)

As funções de pertinência do tipo triangular são caracterizadas pelo terno (**a**, **b**, **c**), onde **a** e **c** determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e **b** é o ponto onde a função de pertinência é máxima. A Figura 8 ilustra uma função de pertinência triangular onde são destacados **a**, **b** e **c**. Nesta figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

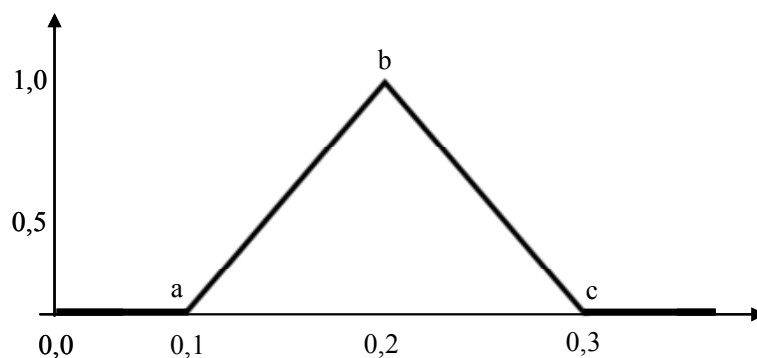


Figura 8 Função de pertinência triangular
Fonte: AZEVEDO (1999).

Uma função de pertinência triangular como ilustrado na Figura 8 pode ser configurada pelo *toolbox* do Matlab tomando as condições a seguir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & \text{se } x \leq a \\ x - a / b - a; & \text{se } a < x \leq b \\ c - x / c - b; & \text{se } b < x \leq c \\ 0; & \text{se } x > c \end{cases}$$

2.5.5.2 Funções de pertinência gaussianas (gaussmf)

As funções de pertinência do tipo Gaussianas são caracterizadas pela sua média (μ) e seu desvio padrão (σ). Este tipo de função de pertinência possui um declínio suave e tem valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada. A Figura 9 ilustra uma função de pertinência gaussiana. Nesta figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se deseja estudar.

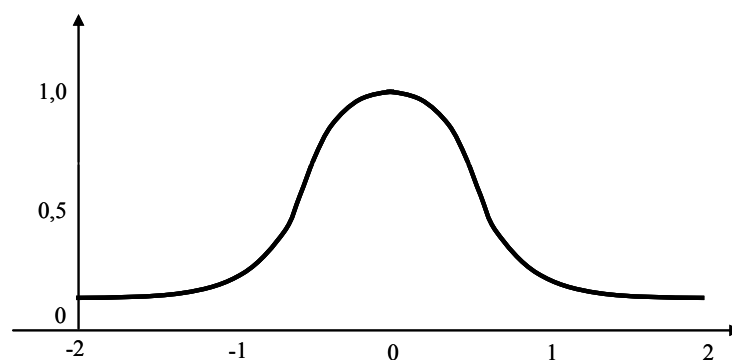


Figura 9 Função de pertinência gaussiana
Fonte: AZEVEDO (1999).

Uma função de pertinência gaussiana, como ilustrada na Figura 9, pode ser configurada pelo *toolbox* do Matlab tomando as condições a seguir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & \text{se } x \text{ está fora do domínio;} \\ e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} & \end{cases}$$

2.5.5.3 Função de pertinência trapezoidal (trapmf)

As funções de pertinência do tipo trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de **a**, **b**, **c** e **d**, onde **a** e **d** determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e **b** e **c** determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência possui o valor máximo igual a 1. A Figura 10 ilustra uma função de pertinência trapezoidal onde são destacados os pontos **a**, **b**, **c** e **d**. Nesta Figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se deseja estudar.

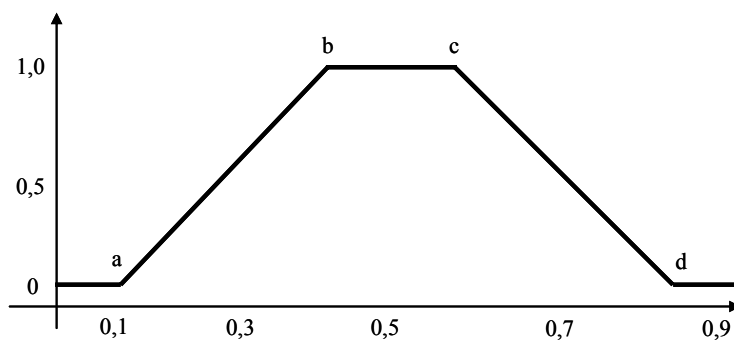


Figura 10 Função de pertinência trapezoidal
Fonte: AZEVEDO (1999).

Uma função de pertinência trapezoidal, como ilustrada na Figura 10, pode ser configurada pelo *toolbox* do Matlab tomando as condições a seguir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & \text{se } x \leq a \\ x - a / b - a; & \text{se } a < x \leq b \\ 1; & \text{se } b \leq x \leq c \\ d - x / d - c; & \text{se } c < x \leq d \\ 0; & \text{se } x > d \end{cases}$$

2.5.6 Avaliação de sistemas pelos controladores *fuzzy*

De acordo com AZEVEDO (1999) e citado também pelos autores (AZEVEDO e SILVA, 1999; HAHN, 2011; BINGUL e KARAHAN, 2011), o controlador *fuzzy* é ideal para ser usado em sistemas não lineares ou sistemas com múltiplas variáveis de entrada. Como as variáveis de entrada e saída do controlador não são determinísticas, na lógica *fuzzy*, o controlador pode aceitar muitas variáveis. Um controlador *fuzzy* pode ser dividido basicamente em três partes principais: fuzzyficação; máquina de inferência nebulosa e a defuzzyficação. A fuzzyficação converte os valores do mundo real em termos linguísticos. De acordo com LEE (1990), o processo de fuzzyficação consiste em se obter, a partir de uma variável numérica $u \in U$, o seu grau de pertinência aos conjuntos X_i contidos no universo U , conforme ilustrado na Figura 11.

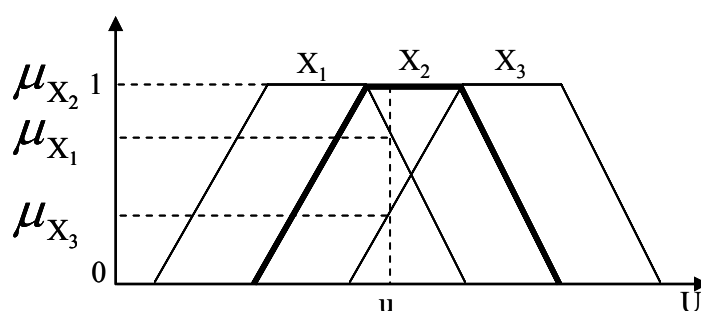


Figura 11 Graus de pertinência de u aos conjuntos X_i
Fonte: AZEVEDO (1999).

De acordo com o mesmo autor, o processo de fuzzyficação faz um mapeamento para condicionar os valores numéricos (não *fuzzy*) de entrada a universos normalizados e fuzzyfica esses valores, convertendo-os em conjuntos *fuzzy*, de forma que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas.

Para o processo de inferência nebulosa, os termos linguísticos são passados por uma série de regras de decisões para determinar uma única saída

linguística. Essas regras de decisão representam a operação básica do controlador *fuzzy*, isto é, máquina de inferência é considerada como núcleo do controlador *fuzzy*.

O processo final é a defuzzyficação, o qual converte a única saída linguística para um valor do mundo real. Nesta fase, é comparada a sua saída linguística única com um conjunto de valores *fuzzy* que determina a saída por meio de um método de medidas pré-determinadas. De acordo com os autores AZEVEDO (1999) e AZEVEDO e SILVA (1999), um controlador *fuzzy* genérico pode ser ilustrado conforme a Figura 12.

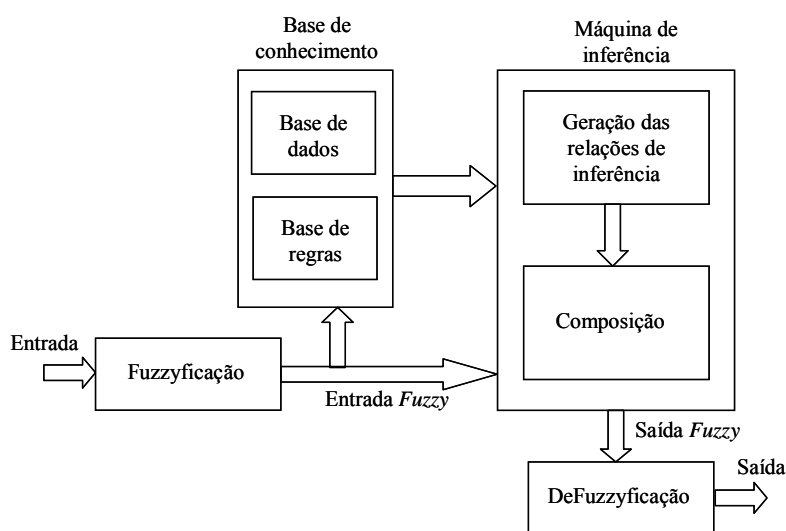


Figura 12 Configuração de um controlador *fuzzy* genérico
Fonte: AZEVEDO (1999).

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. Modelos de aquecimento. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 4., 2003, Chapecó. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003.
- AHRENS, D. C., **Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere.** 4th ed. Belmont: Thompson Higher Education, 2005.
- ALTROCK, C. von. **Fuzzy logic and neuro fuzzy applications explained.** New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- ARTIMAR **Eletrônicas Ltda.** Disponível em: <<http://www.artimar.com.br/fabricantes-microchip.asp>>. Acesso em: 15 fev. 2012.
- AZAD, M. A. K.; KIKUSATO, M.; MAEKAWA, T.; SHIRAKAWA, H.; TOYOMIZU, M. Metabolic characteristics and oxidative damage to skeletal muscle in broiler chickens exposed to chronic heat stress. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular e Integrative Physiology** v.155, n. 3, p.401-406, mar. 2010.
- AZEVEDO, H. R. **Conjuntos Fuzzy Aplicados ao Controle de Processos.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1999. 53 p. Apostila.
- AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. **Tensiômetro:** dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 39p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 1).
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais, conforto animal.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.
- BAIÃO, N. C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. **Anais...** Campinas: FACTA, 1995. p. 67-75.
- BERKAN, R. C.; TRUBATCH, S. L. **Fuzzy systems design principles: building fuzzy IF-THEN rule bases.** New York: IEEE Press, 1997.

BINGUL, Z.; KARAHAN, O. A Fuzzy logic controller tuned with PSO for 2 DOF robot trajectory control. **Expert Systems with Applications**, New York, v.38, p.1017-1031, Jan. 2011.

BRAGA, N.C. Medidor de umidade relativa. **Saber Eletrônica**, São Paulo, v.32, n.1, p.41-4, 1996.

BUENO, L.; ROSSI, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.497-504, 2006.

BUFFINGTON, D. E.; COLAZZO-AROCHO, A.; CATON, G. H. Black globe humidity comfort index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, v.24, n.4, p.711-714, 1981.

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

CAFÉ, M.B.; ANDRADE, M.A. Intoxicações: parte 2. **Avicultura industrial**, v. 91, n. 6, 2001.

CARVALHO, V. F.; YANAGI JUNIOR, T. Y.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; SILVA MARIANO, 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-VANTRESS. **Broiler Management Guide, 2010**. Disponível em: <<http://www.cobb-vantress.com/Publications/GeneralPublications.aspx>>. Acesso: 20 set. 2011.

CONY, A.V.; ZOCHE, A.T. Manejo de frango de corte. In: MENDES, A. A.; NÃÃS, I. A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004. p.117 – 136.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames : The Iowa State University, 1983. 410 p.

DALLY, J. W.; WILLIAM, F. R.; McCONNELL, K. G. **Instrumentation for engineering measurements**. 2nd ed. New York: John Wiley, 1993. 584 p.

DESHAZER, J. A.; BECK, M. M. **University of Nebraska Report for Northeast regional poultry project NE-127**. Lincoln: Agricultural research Division, University of Nebraska, 1988.

DUBOIS, D.; PRADE, H. **Fuzzy sets and systems: theory and applications**. 4th ed. New York: Academic Press, 1980. 393p. (Mathematics in Science and Engineering, 144).

EL-HADI, H.; SYKES, A. H. Thermal panting and respiratory alkalosis in the laying hen. **British Poultry Science**, London, v. 23, p. 49-54, 1982.

ERDEM, H. Implementation of software-based sensor linearization algorithms on low-cost microcontrollers. **ISA Transactions**, v. 49, n. 4, p. 552-558, 2010.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. 2.ed. West Port: AVI, 1974. 325p.

ESMAY, M. L.; DIXON, J. E. **Environmental control for agricultural buildings**. West port: AVI, 1986. 287 p.

FABRÍCIO, J. R. Influência do estresse calórico no rendimento da criação de frango de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Apinco, 1994. p. 129-133.

FARM ANIMAL WELFARE COMMITTEE. Disponível em: <<http://www.defra.gov.uk/fawc/activities/>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

FURTADO, D.A.; DANTAS, R.T.; NASCIMENTO, J.W.B.; SANTOS, J.T.; COSTA, F.G.P. Efeitos de diferentes sistemas de acondicionamento 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.

GREGORY, N. G. How climatic changes could affect meat quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1866-1873, 2010.

HAHN, F. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses, **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.77, p. 21-27, June 2011.

HANSS, M. **Applied fuzzy arithmetic**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Haddberg, 2005. 269p.

HONEYWELL. **Humidity sensor line honeywell, H1H 4000**. Disponível em: <http://sensing.honeywell.com/products/humidity_sensors?Ne=2308eN=3217>. Acessado em: 19 nov. 2012.

IBRAHIM, D. PIC18F Microcontroller Series. In: _____. **SD Card Projects Using the PIC Microcontroller**. Boston: Newnes, 2010. Chap. 2, p. 41-105.

JANG, J. S. R.; SUN, C. T.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1997.

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**, v.11, n.4, p.3525-3533, June, 2011.

LEE, C. C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller - parts I e II”, **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, Prague, v.20, n.2, p. 404-435, Mar./Apr. 1990.

LIMA, A. M. C.; NÃÃS, I. A.; BARACHO, M. S.; MIRAGLIOTTA, M. Y. Ambiente e bem estar. In: MENDES, A.A.; NÃÃS, I.A.; MACARI, M. **Produção de frangos de corte**, Campinas: FACTA, 2004. 356p.

LLOBET, J. A. C.; GONDOLBEU, U. S. **Manual prático de avicultura**. Lisboa: Livraria Popular Francisco Franco, 214p. 1980.

LOPES, R. P. ; SILVA, J. S. ; REZENDE, R. C. **Princípios básicos da psicrometria**. In: SILVA, J.S. (Org.). Secagem e armazenagem de produtos. Viçosa-MG: Aprenda Facil, 2000. v.1, p.39-62.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13, n.4, p. 277-286, out./dez. 2005.

MENEGALI, I. **Avaliação de diferentes sistemas de ventilação mínima sobre a qualidade do ar e o desempenho de frangos de corte.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009. 127p.

MICROCHIP. **Microcontrolador PIC18F4520.** Disponível em: < <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/16bit/>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

MORAES, C.C.; CASTRUCCI, P.L. **Engenharia de automação Industrial.** Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MOURA, D. J. **Ambiência na produção de aves em clima tropical.** Piracicaba: FUNEP, 2001. v.2, 185p.

MOURA, D.J.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O.; CARVALHO, T.M.R.; MAIA, A.P.A.M. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.39, p. 311-316, Jul. 2010.

NÃÃS, I. A. Bem-estar na avicultura: fatos e mitos. **Revista AveWorld**, Campinas, v.10, p.4-8, ago./set. 2005.

NÃÃS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal.** São Paulo: Ícone, 1989. 183p.

NÃÃS, I.A.; PEREIRA, D.F.; BARACHO, M.S. Bem estar e comportamento. In: MACARI, M.; MENDES, A.A. (Org.). **Manejo de matrizes de corte.** Campinas: FACTA, 2005. p.45-52.

NASCIMENTO JUNIOR, R, C. L.; YONEYAMA, T. Inteligência artificial em controle e automação. São Paulo: Edgar Blucher, 2008. p 68-91.

NATIONAL Semiconductor LM-35. Disponível em: <<http://www.national.com/profile/snip.cgi/openDS=LM35>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

NORTH, M.O.; BELL, D.D. **Commercial chicken production manual.** 4.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 456p.

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, MG, v.35, n. 3, p. 797-803, 2006.

PALMIERI, A. M. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas**: aplicações no ambiente agrícola. 2009. 100p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Piracicaba, Piracicaba, 2009.

PEREIRA, C. C. J. **Fundamentos de bioclimatologia aplicada à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005.

PIRES, D. P. L.; AFONSO, J. C.; CHAVES, F. A. B. A temperatura nos séculos XIX e XX. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 101-114, mar. 2006.

REECE, F. N.; LOTT, B. D.; DEATON, L. W.; BRANTON, S. L. Meal feeding and broiler performance. **Poultry Science**, West Lafayette, v. 65, n. 12, p. 1497-1501, Dez. 1986.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. McGraw-Hill, 1995.

SANTOS, P.A.; BAÊTA, F.C.; TINOCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, 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**, Viçosa, MG, v.56, n.2, p.172-180, mar./abr. 2009.

SARTORI, J. R.; GONZALES, E.; DAL PAI, V. Effect of environmental temperature and feed restriction on the performance and composition of the skeletal muscle fibers in broilers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.30, n.6, p.1779-1790, 2001a.

SEO, I.H.; LEE, I. B.; MOON, 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**, v.104, p.106-117, set. 2009.

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.

SILVA, A.; NÃÃS, I. A. **Equipamentos para aquecimento e refrigeração**. Produção de frangos de corte. Campinas: FACTA, 2004. 356p.

SILVA, I. J.O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical.**

Piracicaba: FUNEP. 2001. v.1.

TEIXEIRA, V.H. **Estudos dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para as regiões de Viçosa e Visconde do Rio Branco, MG.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1983.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v.12, n.1, p.57-60, 1959.

TIMMONS, M.B.; GATES, R.S. Predictive model of laying hen performance to air temperature and evaporative cooling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n.5, p.1503-1509, set./out. 1988.

TINÔCO, I.F.F., Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciências Avícolas**, v.3, p.1-26, 2001.

TINÔCO, I.F.F. Conforto ambiental para aves / ponto de vista do engenheiro. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Goiana de Avicultura/UFG, 1996. p.47-56.

TINÔCO, I.F.F. A granja de frangos de corte. In: MENDES, A. A.; NÃÃS, I. A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004. p.55-84.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. Disponível em: <<http://www.abef.com.br/ubabef/exibenoticiababef.php?notcodigo=3293>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Food safety and inspection service. Disponível em: <<http://www.fsis.usda.gov>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

WATHES, C.M. Strive for clean air in your poultry house. **World Poultry Science Journal**, v.15, n.3, p.17-19, 1999.

WILHELM, L. R. Numerical calculation of psychrometrical properties in SI units, **Transactions of the ASAE**, New York, v.19, p.318-325, 1976.

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

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: 20 jul. 2011.

YOUSEF, M. K. Stress physiology in Livestock. **Poultry**, Boca Raton, v. 3, p. 159, 1985.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, Berkeley, v.8, p.338-353, June 1965.

ZADEH, L. A. A fuzzy-set-theoretic interpretation of linguistic hedges. **Journal Cybernetics**, v.2, p.4-34, 1972.

ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.3, n.1, p.28-44, Jan. 1973.

ZANOLLA, N. **Sistema de ventilação em túnel e sistema de ventilação lateral na criação de frangos de corte em alta densidade**. 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG., 1998.

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**, v.12, n.5, p.303-316, 2010.

ZULOVICH, J.M.; DESHAZER, J.A. Estimative egg production declines at high environmental temperatures and humidities. **American Society Of Agricultural Engineers**, St. Joseph, p. 34. 1990.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 SISTEMA AUTOMATIZADO, COM
MICROCONTROLADOR, PARA CONTROLE DE EQUIPAMENTOS
DE AMBIÊNCIA EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

ALECRIM, P.D.¹; CAMPOS, A.T.²; YANAGI JUNIOR, T.³

¹ Eng. Eletricista, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – MG, paulo.alecrim@ifmg.edu.br.

² Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

³ Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

Preparado de acordo com as normas da Revista de Ciências Agrárias

RESUMO

A temperatura e a umidade relativa do ar são importantes variáveis meteorológicas na avaliação do conforto térmico para aves. 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. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, sendo que a primeira constituiu-se de análise computacional por meio de simulação e, a segunda, constituiu-se da avaliação do *hardware* e *software* desenvolvidos por meio de teste do equipamento no registro de variáveis meteorológicas em túneis de vento climatizados. A partir de teste em laboratório, o protótipo mostrou-se apto a operacionalizar de forma automática o controle de equipamentos para ambiência para aviários, a partir de valores recomendados de temperatura e umidade relativa, por meio do monitoramento automatizado destes parâmetros com o equipamento proposto.

Termos para indexação: Conforto térmico. Construções rurais. Ambiência. Instalações para aves. *Software*.

ABSTRACT

Air dry-bulb temperature and relative humidity are important meteorological variables in the assessment of thermal comfort for birds. The aim of the present work is to develop an automated system, composed of hardware and software in an embedded microcontroller for control and supervision of the thermal environment in broiler houses. The study was carried out in two stages: the first were consisted in computer analysis by simulation and the second consisted in a hardware and software evaluation developed by testing the equipment in recording of meteorological variables in conditioned wind tunnels. From laboratory testing, the prototype proved to be able to operate in an automatically control equipment for poultry ambience, from the recommended values of temperature and relative humidity, through the automated monitoring of these parameters with the proposed equipment.

Index terms: Thermal comfort. Rural buildings. Ambience. Poultry houses. Software.

1 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 elementos climáticos, os que afetam mais diretamente as aves são a 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 e 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 (MOURA et al., 2010). Para que um ambiente seja considerado confortável é necessário que a ave não perca energia, seja para compensar o frio ou calor (SANTOS et al., 2009).

De acordo com vários autores, MEDEIROS et al. (2005), FURTADO et al. (2006) e 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 faixas de t_{bs} , UR e ITGU, que determinam 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 e 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 avícola 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 o funcionamento de sistemas físicos de forma segura, rápida e independente da presença humana (SILVA e 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 do ambiente térmico 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 vantagem de se utilizar microcontroladores é que estes 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 controle 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 de equipamentos de ambiência em instalações para de frangos de corte, a partir de valores recomendados de temperatura e umidade relativa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do controlador automatizado para controle e supervisão do ambiente térmico no interior de galpões para criação de frangos de corte ocorreu em duas etapas, sendo a primeira realizada por meio de modelagem e simulação computacional utilizando o *software* Proteus versão ISIS 7.7 SP2 *Professional* (Demo). Na segunda etapa foi feita a montagem do *hardware* e seus periféricos, com base no circuito modelado e simulado e testado em laboratório. A Figura 1 ilustra o diagrama em blocos do sistema desenvolvido, simulado e implementado neste trabalho.

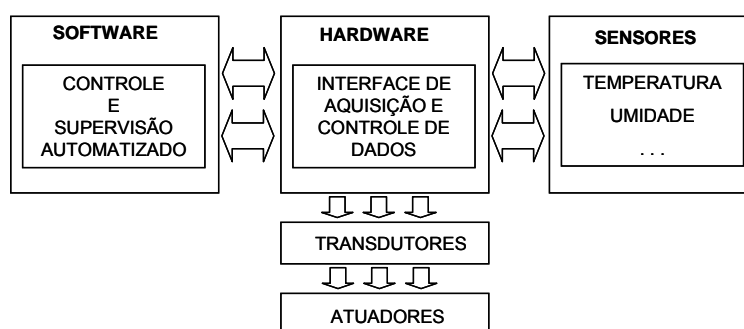


Figura 1 Sistema de controle climático genérico

Para validação do sistema desenvolvido foram introduzidos no interior de dois túneis de vento climatizados, sensores para medição das variáveis t_{bs} , t_{gn} e UR. Em cada túnel climatizado foram introduzidos quinze pintainhos com cinco dias de vida. De 9 h às 16 h, foram feitas medidas t_{bs} , t_{gn} , e de UR. A Figura 2 mostra o ambiente com túnel de vento climatizado utilizado na simulação. 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.

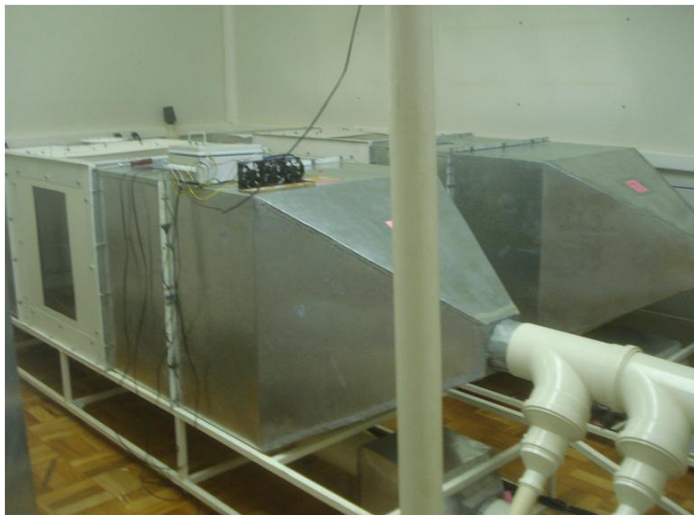


Figura 2 Túnel de vento climatizado utilizado na simulação do controlador de ambiência

Visando 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 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/O e periféricos. Possui 13 entradas analógicas AD de 10 *bits*, 32 KB de memória ROM (*Read Only Memory*), 256 *bytes* de memória EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only*

Memory) e 1536 bytes de memória RAM (Random Access Memory) (WILMSHURST, 2007).

2.1 Modelagem e simulação computacional

A montagem do protótipo para o controlador automatizado se deu com base na modelagem e simulação do modelo adotado, onde os sensores de t_{bs} , t_{gn} e UR são ilustrados na Figura 3.

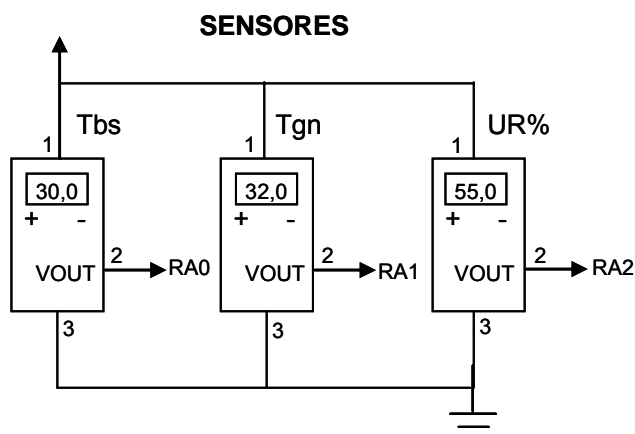


Figura 3 Simulação dos sensores de temperatura do bulbo seco do ar (t_{bs}), temperatura do globo negro (t_{gn}) e umidade relativa (UR)

A comunicação entre o microcontrolador e os periféricos, tipo atuadores, foi feita utilizando os *drivers* encapsulados no CI ULN2803 e relés para comandar os atuadores. A Figura 4 ilustra o *driver* utilizado para acionamento de cada atuador, de acordo com as tomadas de decisão do *software* desenvolvido, e a Figura 5 a conexão entre os *drivers* e os atuadores.

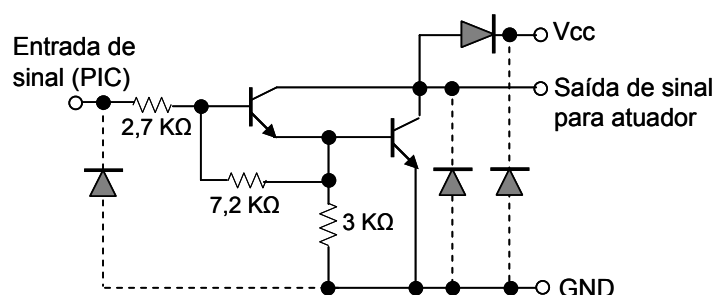


Figura 4 *Driver* (CI ULN2803)

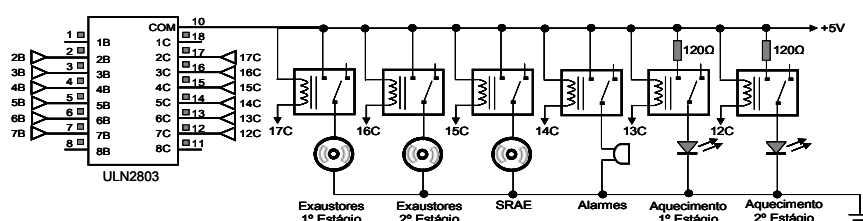


Figura 5 *Drivers* e conjunto de atuadores

Para simular o acionamento dos atuadores foram usadas seis saídas da porta C do microcontrolador (RC0, RC1, RC2, RC3, RC4 e RC5) conectados 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 LED's.

O controle e 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 a t_{bs} e a 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 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 5.

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 6 mostra o diagrama elétrico simulado e implementado para o controlador automatizado.

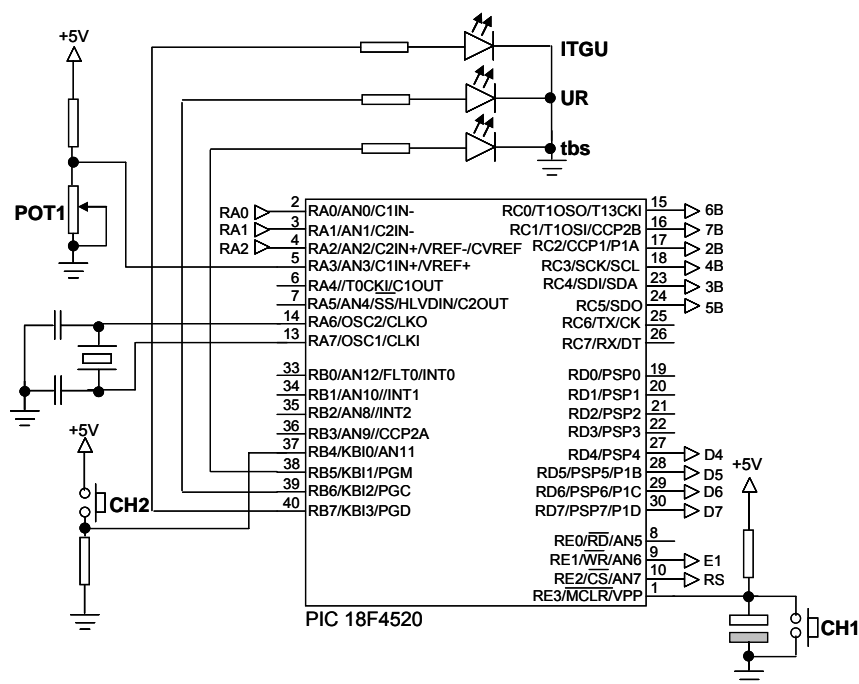


Figura 6 Diagrama elétrico do controlador com PIC18F4520

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 o controlador automatizado e o ajuste da t_{ref} é feita através do potenciômetro POT1.

Ao inicializar 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) 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 7, 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.

Para outros valores e/ou faixas para t_{bs} , os ajustes são feitos através da tela da Figura 7. 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.

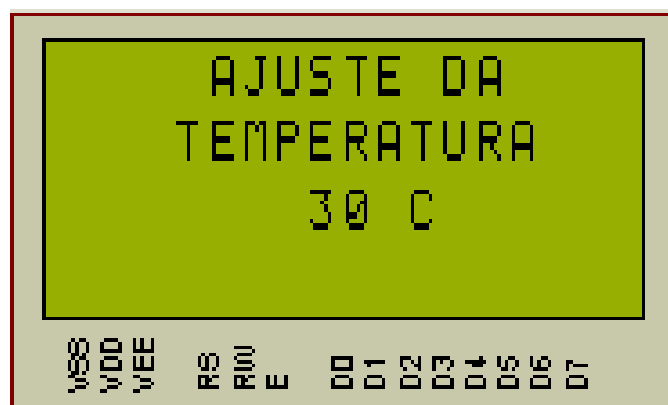


Figura 7 Ajuste da temperatura de referência

2.2 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 teste do circuito elétrico do protótipo, ajustando o *software* desenvolvido e simulado, programando os 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 climatizados para avaliar a sua estabilidade no controle e supervisão automática dos parâmetros climáticos. A montagem para a versão final do protótipo foi feita em caixa plástica padrão. A Figura 8 mostra o controlador automatizado montado em *protoboard* e a Figura 9 a versão final do protótipo montado em caixa plástica.

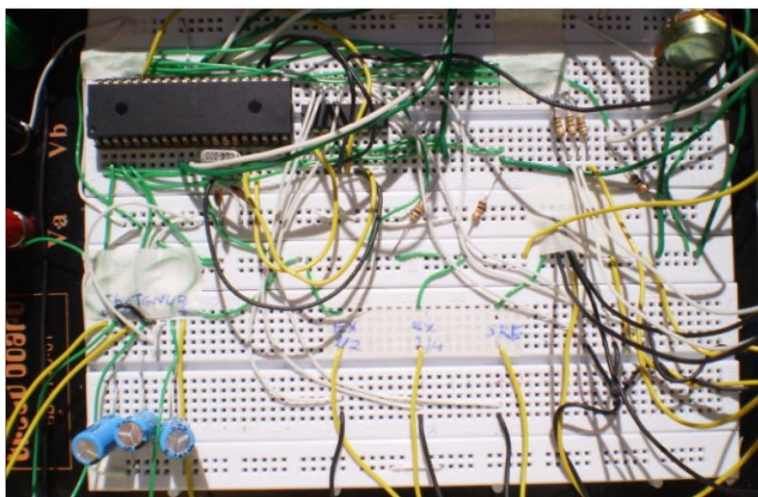


Figura 8 Controlador automatizado montado em *protoboard*

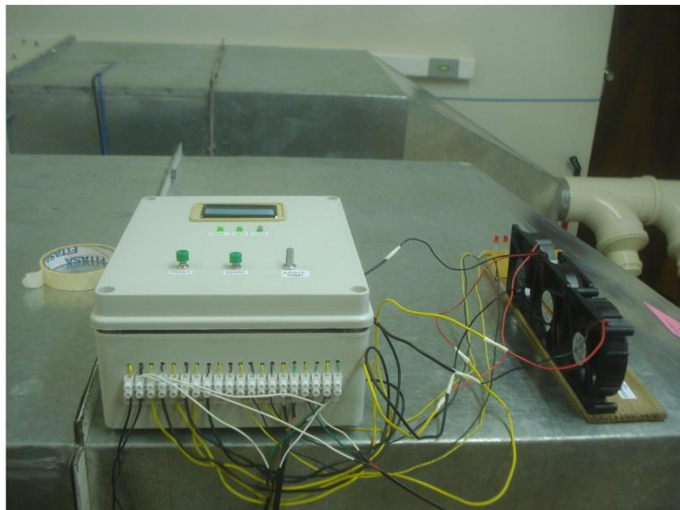


Figura 9 Montagem do protótipo do controlador automatizado

Para coletar os dados de t_{bs} e t_{gn} foram utilizados sensores LM35, produzidos pela *National Semiconductor Corporation*. Para a coleta dos dados de t_{gn} foram utilizados globos negros com diâmetro de 15 cm. 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 converso A/D do microcontrolador. A Figura 10 mostra o encapsulamento e a pinagem dos sensores de t_{bs} (a) e UR (b) utilizados na montagem do *hardware*.

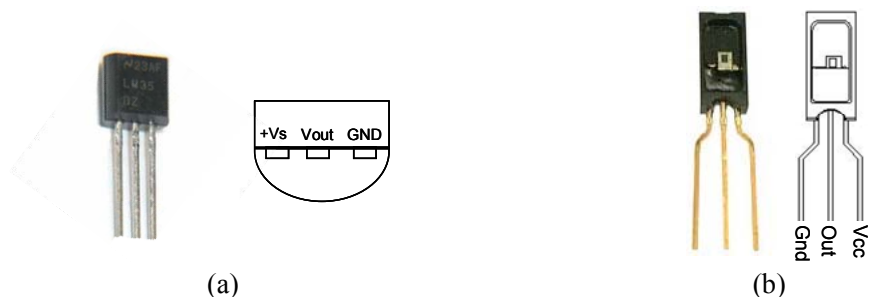


Figura 10 Encapsulamento dos sensores de (a) temperatura de bulbo seco LM35 de (b) umidade relativa HIH 4000

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 (Vref) 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 (Vref) também será +4 V.

O acionamento dos atuadores para operar o sistema de climatização 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 $3,0\mu\text{s}$. Para simular o acionamento do sistema de climatização e SRAE foi utilizado *cooler* de computador e para o sistema de aquecimento por meio de LEDs. A Figura 11 mostra o modelo para simulação para estes atuadores.

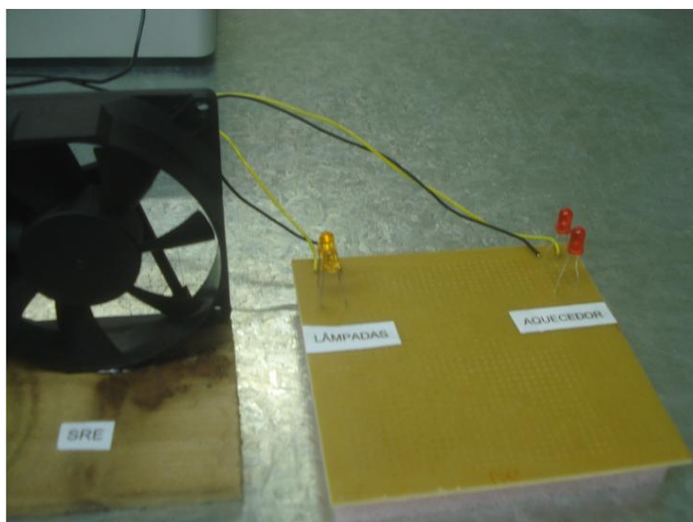


Figura 11 Cooler e LEDs como atuadores.

2.3 Software

O *software* desenvolvido para este trabalho foi feito na linguagem C utilizando o compilador da MikroC PRO for PIC versão 5.01 (Demo). A Figura 12 mostra o fluxograma simplificado para o controle da t_{bs} e a Figura 13 a UR dos algoritmos contendo as instruções do programa embarcado no microcontrolador PIC18F4520 simulado e implementado.

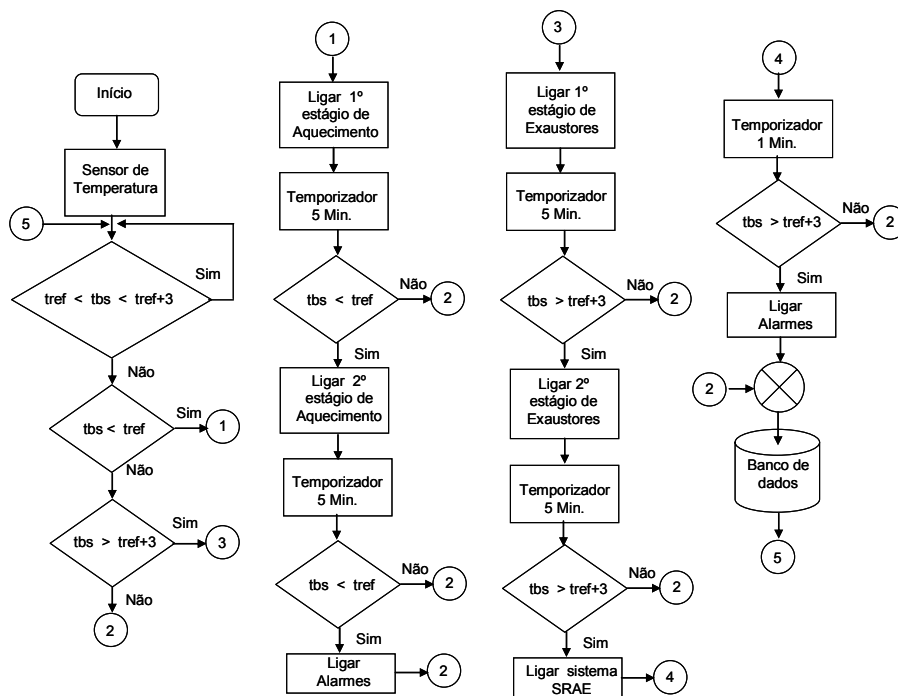


Figura 12 Fluxograma simplificado para controle da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs})

As Figuras 12 e 13 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 no nível dos animais. A aquisição de dados foi feita pelo *software* desenvolvido e embarcado no microcontrolador PIC que, após cada $3,0 \mu s$, mostra no *display* os valores de t_{bs} (°C), UR (%) e ITGU.

Para os casos em que a t_{bs} atingiu valor inferior ou superior aos limites pré-estabelecidos, ou seja, qualquer valor abaixo ou acima da t_{ref} para a primeira semana de vida das aves foram acionados o 1º e 2º estágios do sistema de

aquecimento e abertura na parte superior de cortinas, para os casos de calor intenso, demonstrados no teste através do acionamento de LEDs.

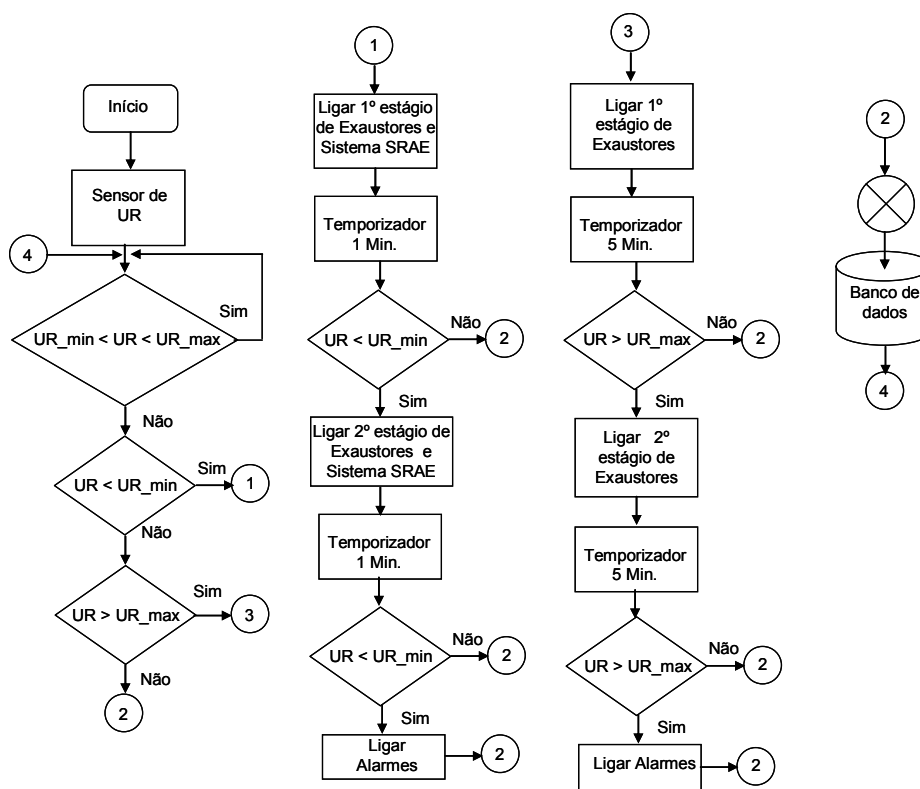


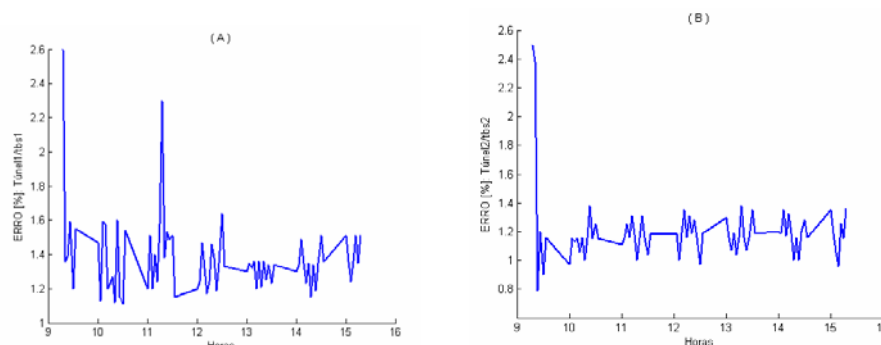
Figura 13 Fluxograma simplificado para controle da umidade relativa do ar (UR)

Para esta fase inicial de criação das aves o sistema de controle automatizado foi programado para não acionar nenhum equipamento de ventilação e nem SRAE, apenas o sistema de aquecimento feito por resistência elétrica e alarmes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 14 mostra as curvas referentes aos valores estimados 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 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 e ZOCCHÉ (2004), MEDEIROS et al. (2005), OLIVEIRA et al. (2006) 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}) conforme rotina de acionamento da Figura 12.



Figuras 14 Comportamento temporal do erro entre os valores medidos da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (°C) nos túneis de vento climatizados 1 e 2 versus variação da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (°C) medida pelo controlador desenvolvido (t_{bs1} e t_{bs2})

Verifica-se pelos resultados apresentados na Figura 14 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 aproxima 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.

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 estimados, mostrados na Figura 15, 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) 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 1º e 2º 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 12. A validação do protótipo para o caso de controle da UR (Figura 13) foi feita apenas em regime de simulação, onde a coleta dos dados foram feitas nos túneis 1 e 2 para a

segunda semana de vida das aves em diante, assegurando assim, nenhum acionamento de ventiladores e nem exaustores.

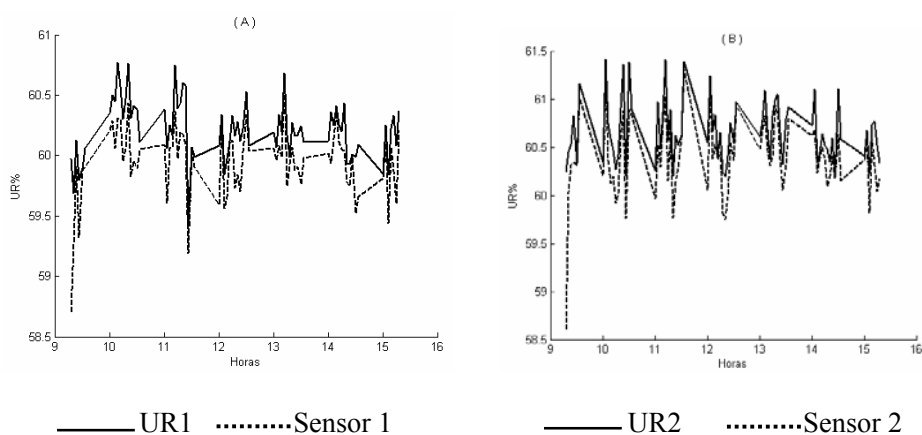


Figura 15 Comportamento temporal da umidade relativa (UR) medida nos túneis de vento climatizados 1 e 2 (UR1 e UR2) versus variação da UR medida pelos sensores do controlador desenvolvido (Sensores 1 e 2)

Pela análise estatística do erro para UR referente aos testes realizados nos túneis de vento climatizados 1 e 2, mostradas na Figura 16, 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. Analisando-se a variabilidade estatística do erro pela Figura 16 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 então que elas são constantes e que se

aproxima 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.

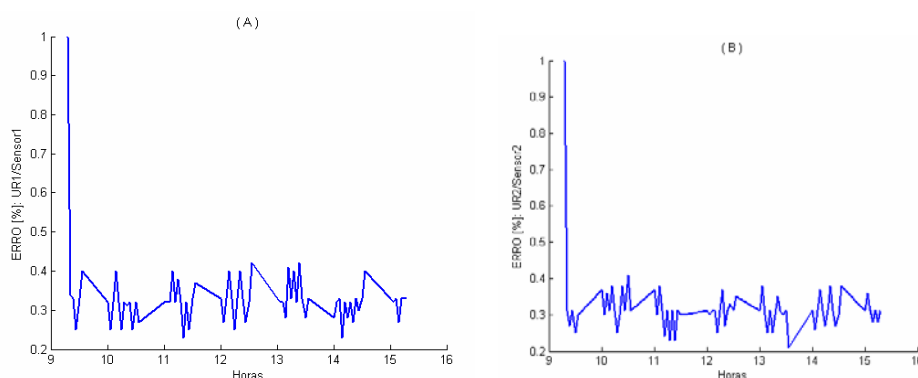


Figura 16 Comportamento temporal do erro entre os valores medidos da umidade relativa (UR) nos túneis de vento climatizados 1 e 2 (UR1 e UR2) versus variação da umidade relativa (UR) medida pelos sensores do controlador desenvolvido (Sensores 1 e 2)

Os resultados estimados e apresentados na Figura 17 (A) mostram a variação do ITGU em função dos valores coletados pelos sensores t_{bs1} , t_{gn1} e UR1 do protótipo.

Analisando os resultados estimados e apresentados na Figura 17 (B), verifica-se que a variabilidade entre os valores de referência do ITGU medido no túnel 1 e os valores do ITGU obtido 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 obtido pelo protótipo do controlador é desprezível, ficando

próxima de zero, sendo assim constante, aproximando da média que foi de 0,20%. Estes resultados confirmam que as variações do ITGU obtido 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 na Figura 17 que mostram que o sistema implementado foi capaz de manter estabilizado as leituras dos valores de 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.

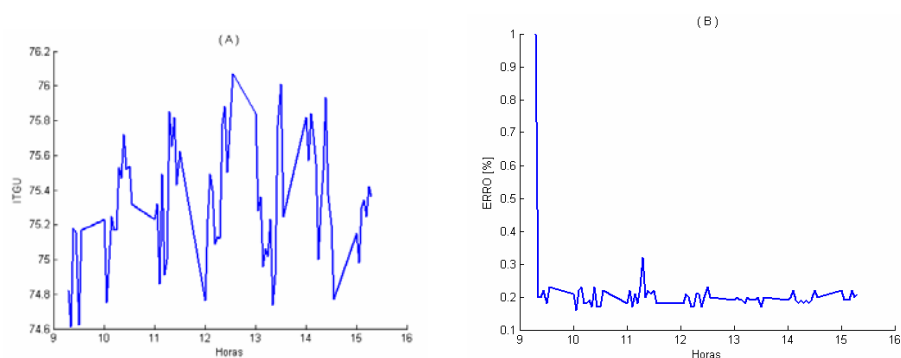


Figura 17 Comportamento temporal do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ao longo do tempo (A) e variação percentual do erro (B)

Pela análise dos resultados mostrados na Figura 17 (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).

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o sistema automatizado proposto constitui-se alternativa eficiente, de baixo custo, circuito eletrônico sem complexidade e de fácil implementação.

A variabilidade estatística do erro entre os valores medidos pelo controlador automatizado e os do sensor do túnel climatizado não foi significativa para t_{bs} e UR.

Conclui-se que o protótipo do controlador automatizado pode ser usado no controle da t_{bs} , t_{gn} e UR em aviários de corte, propiciando melhores condições de conforto térmico animal e, conseqüentemente, maior produtividade.

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**, v.20, p.876-886, 2010.
- 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.
- CONY, A. V.; ZOCHE, A. T. Manejo de frango de corte. In: MENDES, A. A.; NÃÃS, I. A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas, FACTA, p.117 – 136, 2004.
- CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; SILVA, J. N.; VIGODERIS, R. B.; PINTO, F. A. C.; CECON, 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, MG, v.39, n.1, p.217-224, 2010.
- ERDEM, H. Implementation of software-based sensor linearization algorithms on low-cost microcontrollers. **ISA Transactions**, 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 acondicionamento 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, p.41-105, 2010.
- 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, p.3525–3533, 2011.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13, n.4, p.277-286, 2005.

MOURA, D.J.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O; CARVALHO, T.M.R.; MAIA, A.P.A.M. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.39, p. 311-316, Jul. 2010.

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**, Viterbo, v.130, n.1, p.57-69, May 2010. (World Conference on Animal Production, 10).

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, MG, v.35, n. 3, p. 797-803, maio/jun. 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.; BAETA, F. C.; TINOCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, 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, mar./abr. 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**, v. 104, p.106-117, 2009.

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, p.189-195, 2002.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. Disponível em: <http://www.abef.com.br/ubabef/publicacoes_relatoriosanuaisuba.php>. Acesso em: 02 maio 2012.

WILMSHURST, T. **Designing embedded Systems with PIC microcontrollers**: Principles and applications. London: Elsevier, 2007. 556 p.

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**, Australia, v.12, n.5, p.303-316, Oct. 2010.

**ARTIGO 2 SISTEMA *FUZZY* DE BAIXO CUSTO EMBARCADO EM
MICROCONTROLADOR PARA CONTROLE E SUPERVISÃO DO
AMBIENTE TÉRMICO EM GALPÕES PARA CRIAÇÃO DE FRANGOS
DE CORTE**

ALECRIM, P.D.¹; CAMPOS, A.T.²; YANAGI JUNIOR, T.³

¹ Eng. Eletricista, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – MG, paulo.alecrim@ifmg.edu.br.

² Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

³ Eng. Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA/Lavras - MG.

Preparado de acordo com as normas da Revista Engenharia Agrícola

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver um controlador *fuzzy* embarcado em microcontrolador PIC, composto por *software* e *hardware*, para controle e supervisão do ambiente térmico em galpões de frangos de corte. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, em que, na primeira, realizou-se análise computacional, por meio de simulação. Na segunda etapa foi feita a avaliação do *software* e *hardware* desenvolvidos por meio de teste do equipamento no registro de variáveis do ambiente térmico no interior de uma instalação e acionamento de equipamentos de climatização, em experimento com frangos de corte da linhagem Cobb 500, idade de 1 a 28 dias, em granja experimental localizada na região de Bambuí, MG. O protótipo mostrou-se apto a operacionalizar, de forma automática, o controle de equipamentos para ambiência para aviários e supervisão de variáveis meteorológicas. O controlador *fuzzy* desenvolvido estimou satisfatoriamente o conforto térmico das aves durante 28 dias de experimento, mantendo os parâmetros térmicos dentro do especificado pela literatura. O sistema pode ser utilizado na automação de equipamentos de ambiência em todas as etapas da cadeia produtiva para frangos de corte.

Termos para indexação: Conforto térmico. Construções rurais. Controlador fuzzy. Instalações para aves. Climatização. Equipamentos para aviários. *Software* e *hardware*.

ABSTRACT

The aim of this work were to develop a fuzzy controller embedded in a PIC microcontroller, composed of hardware and software for control and supervision of thermal ambient in broiler sheds.

The work was developed in two stages, in the first, it was made a computer analisys. In the second stage, an evaluation of software and hardware, developed by test of equipment in the registry of thermal environment variables within an installation and activation of HVAC equipments, in an experiment with Cobb 500 broilers, age from 1 to 28 days in an experimental farm located in the region of Bambuí, state of Minas Gerais, Brazil. The prototype proved to be able to operate, automatically the control of equipment for poultry ambience and supervision of meteorological variables. The fuzzy controller estimated satisfactorily the thermal comfort of the birds during 28 days of experiment, keeping the heat inside the parameters specified in the literature. The system can be used in automation equipment ambience in all stages in the production chain of broilers.

Index terms: thermal comfort; rural buildings; fuzzy controller; poultryhouses, HVAC, equipment for poultry; software and hardware

1 INTRODUÇÃO

Em 2012 o Brasil se consagrou o maior exportador de carne de frango do mundo com 40,25% do total, seguido pelos Estados Unidos com 30,28% (UBA, 2012). Contudo, o setor avícola carece de inovações tecnológicas principalmente no controle do ambiente térmico que atenda a crescente demanda interna e externa com máxima produtividade de carne com o menor custo.

Entre os elementos climáticos, os que afetam mais diretamente as aves são a temperatura do ar (ou temperatura de bulbo seco - t_{bs}) e a umidade relativa do ar UR, influenciando diretamente o estado de conforto térmico dos animais (PEREIRA e NÃÃS, 2008; CARVALHO et al., 2009; MOURA et al., 2010). Para que um ambiente nas condições de confinamento seja considerado confortável é necessário que a ave não perca energia, seja para compensar o frio ou calor, o que está relacionado às faixas de temperatura e umidade relativa do ar, que determinam a zona do conforto térmico animal (NAZARENO et al., 2009; SANTOS et al., 2009). De acordo com pesquisas realizadas por OLIVEIRA et al. (2006), DAMASCENO et al. (2010) e ROCHA et al. (2010), o conforto térmico das aves pode ser avaliado pelo ITGU, o qual reúne os efeitos combinados de t_{bs} , UR, velocidade do vento e radiação.

As mudanças no perfil do empresário rural, forçado a migrar para um modelo empresarial de gestão da propriedade, trouxeram para o segmento avícola a necessidade de se controlar todas as etapas do processo produtivo por meio de sistemas de automação e controle (PEREIRA et al., 2008; ZERGER et al., 2010).

A escolha do controlador com base nos conjuntos *fuzzy* foi devido à não linearidade dos parâmetros climáticos envolvidos. As propriedades intrínsecas de sistemas climáticos impedem que a resposta dinâmica, devido, por exemplo, a alterações na entrada, seja independente de condições de operação iniciais

específicas (NASCIMENTO JR. e YONEYAMA, 2008; HAHN, 2011). Para os casos em que a modelagem matemática se torna complexa e/ou o modelamento do sistema a ser controlado exibe sua não linearidade, a escolha pelo controlador *fuzzy* se sobressai em relação a outras técnicas de controle (OLIVEIRA et al., 2005). O controlador *fuzzy* desenvolvido foi concebido com base nos conjuntos *fuzzy*, inicialmente proposto por Mamdani em 1974 (LEE, 1990).

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 controle e supervisão do conforto térmico animal assumem posição de destaque. Diante da importância desses fatores, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver e construir um controlador *fuzzy* automatizado, composto de *software* e *hardware* embarcado em microcontrolador PIC, para o controle e supervisão dos parâmetros térmicos em instalações para frangos de corte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Numa primeira etapa, foram feitas simulações do circuito eletrônico do controlador *fuzzy* utilizando o *software* Proteus (demo). Para o controle dos parâmetros temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de globo negro (t_{gn}) e umidade relativa do ar (UR) utilizou-se o ambiente computacional MATLAB® versão 7.8, 2009a para obter as regras *fuzzy*. Numa segunda etapa foi realizado experimento no município de Bambuí – MG, em galpão experimental para frangos de corte do laboratório de avicultura do IFMG – Campus Bambuí.

O galpão experimental possui dimensões de 8,0 x 40,0 m, cobertura de telhas de barro, alvenaria de tijolos furados nos oitões e em muretas laterais de 0,45 m de altura, piso de concreto, tela de arame para fechamento lateral, cortinas laterais na cor amarela e azul conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1 Galpão experimental em alvenaria com tijolos furado e com muretas laterais (a); telhas de barro (b); cama de palha de arroz (c)

Internamente o galpão possui 48 boxes (1,3 x 2,0 m) para experimentação distribuídos ao longo do galpão, sendo 24 boxes por lateral, um comedouro e um bebedouro por box, além de seis ventiladores modelo tufão

distribuídos ao longo do galpão, sendo três ventiladores por lateral. Sistema de nebulização distribuído ao longo do galpão, sendo 14 emissores de água por cada lateral, totalizando 28 emissores. O sistema de aquecimento foi constituído por 48 lâmpadas infravermelho, de 250 W/220V distribuídas ao longo do galpão, sendo 24 lâmpadas por lateral, uma lâmpada por box (Figura 2).



Figura 2 Sistema de nebulização (a); distribuição dos boxes e ventiladores (b); Sistema de aquecimento por lâmpadas infravermelho (c); comedouro e bebedouro (d)

O galpão foi dividido em sua região central, por meio de uma cortina de ráfia, cor azul, instalada com o objetivo de permitir o isolamento das duas partes do galpão experimental para que os equipamentos funcionassem de forma independente. A cortina foi instalada do piso ao teto, a uma altura de 2,8 m, formando dois ambientes (lado A e lado B). No lado B do galpão os equipamentos para climatização eram acionados manualmente, de acordo com as recomendações da literatura (Figura 3). No lado A do galpão (Figura 3) os

equipamentos foram acoplados ao controlador (Figura 4), que os acionou de forma automática, a partir da medição dos parâmetros térmicos ambientais.

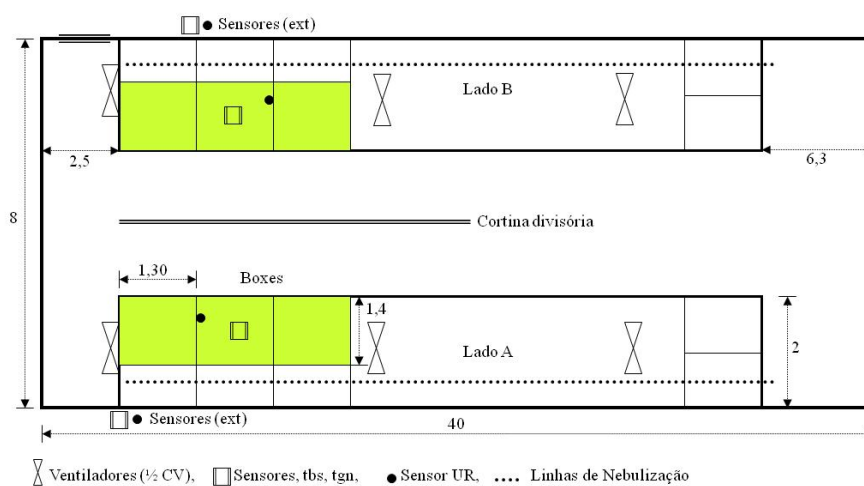


Figura 3 Esquema de divisão da distribuição dos sensores, ventiladores e boxes.
Unidade: m



Figura 4 Controlador *fuzzy* e suas conexões

O sistema de nebulização funcionou de forma independente, ou seja, uma bomba no lado B de 2 CV/220V e outra com as mesmas especificações elétricas e de pressão no lado A.

A coleta de dados iniciou-se no dia 08 de agosto de 2012 às 8h, sendo realizada em regime de 24h por dia, e foi concluída no dia 05 de setembro de 2012 às 8h, totalizando 28 dias. O experimento foi realizado com frangos de corte da linha Cobb 500, mistos, com densidade de 18 aves m⁻² compreendendo as quatro fases do sistema produtivo das aves. Foram alojados 198 pintainhos de um dia de vida, distribuídos em seis boxes, sendo 33 aves por box medindo 1,4 x 1,3 m. A instalação foi dividida em dois grupos, sendo o lado B composto por três boxes cujo controle dos parâmetros térmicos (t_{bs} , t_{gn} e UR) foi feito da forma convencional. No lado A empregaram-se três boxes com controle dos parâmetros térmicos automatizados pelo protótipo do controlador *fuzzy* desenvolvido. A coleta de dados do ambiente térmico no lado A foi realizada pelo controlador *fuzzy* e no lado B por *dataloggers* da marca HOBO® (Figura 5) com resolução de 0,1 °C e precisão de $\pm 0,7$ °C. A Figura 5 mostra o datalogger HOBO utilizado no lado B. Na Figura 3 podem-se observar as divisões dos boxes, sensores, ventiladores para realização do experimento.



Figura 5 *Datalogger* HOBO utilizado na coleta de dados

Foi feita a avaliação do piloto do protótipo do controlador *fuzzy*, desenvolvido por meio de registro dos parâmetros do ambiente térmico

utilizando sensores de t_{bs} , t_{gn} , e UR instalados na parte externa do galpão experimental e no interior dos boxes, ao nível das aves. Quanto ao ITGU, desenvolvido por Buffington et al. (1981), foi calculado pela equação 1. A temperatura do ponto de orvalho pode ser obtida pela equação 2.

$$ITGU = t_{gn} + 0,36 \cdot t_{po} - 330,08 \quad (1)$$

em que,

$$t_{po} = 6,983 + 14,38 \cdot \ln(P_v) + 1,0790 \cdot [\ln(P_v)]^2 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

em que, P_v é a pressão de vapor d'água em kPa.

em que, t_{gn} e t_{po} são expressos em [K].

Dessa forma, o ITGU foi obtido por meio da coleta dos sinais dos sensores de t_{gn} , t_{bs} e UR, que incorpora a pressão de vapor d'água.

No período de 1 a 28 dias de vida das aves, o controle do sistema de ventilação, nebulização e aquecimento no lado A foi feito de forma automatizado, pelo controlador *fuzzy* de acordo com as regras *fuzzy* das Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Base de regras do controlador *fuzzy* utilizado na simulação e implementação prática para as variáveis de entrada, Temperatura de bulbo seco (t_{bs}) ($^\circ\text{C}$) e de Umidade Relativa UR (%) e de saída “conforto térmico”, Muito baixa (MB), Baixa (B), Ideal (I), Alta (A), Muito alta (MA), Ruim (R), Médio (M), Bom (B)

UR (%)	tbs ($^\circ\text{C}$)				
	MB	B	I	A	MA
MB	R	R	M	B	B
B	R	R	B	MB	MB
I	R	M	MB	MB	B
A	M	B	MB	MB	R
MA	B	B	B	B	R

Tabela 2 Variáveis, umidade relativa (UR) e temperatura de bulbo seco (t_{bs}) fuzzyficadas para as 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semanas de vida das aves.

	1ª Semana		2ª Semana		3ª Semana		4ª Semana	
	UR (%)	t_{bs} (°C)	UR (%)	t_{bs} (°C)	UR (%)	t_{bs} (°C)	UR (%)	t_{bs} (°C)
MB	<30	<27	<50	<24	<50	<21	<50	<18
B	30-50	26,5-29,5	50-60	23,5-26,5	50-60	20,5-23,5	50-60	17,5-20,5
I	40-60	28,5-31,5	60-70	25,5-28,5	60-70	22,5-25,5	60-70	19,5-22,5
A	50-70	29,5-32,5	70-80	26,5-29,5	70-80	23,5-26,5	70-80	20,5-23,5
MA	>70	>33	>80	>30	>80	>27	>80	>24

Nos períodos de baixa temperatura, quando a temperatura do ar atingia valores inferiores a 30°C (primeira semana de vida das aves), o sistema de aquecimento era acionado manualmente no lado B da instalação. A partir da segunda semana, quando a temperatura do ar atingia valor superior a 33°C, o sistema de nebulização e ventiladores eram acionados. Da mesma forma, foi feito com as variações do ITGU e UR. Ventiladores e nebulizadores foram acionados obedecendo aos limites que proporcionam conforto térmico às aves. As faixas de t_{bs} , UR e ITGU consideradas confortáveis para frangos de corte foram aquelas propostas em estudos científicos realizados por OLIVEIRA et al., (2006) e CORDEIRO et al., (2010) para as 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semanas de vida das aves, isto é, 29 a 33°C, 24,6 a 28,2°C, 20,7 a 22,5°C, 21,2 a 21°C,4 e 51 a 57,5%, 60,1 a 68,7%, 66,7 a 70,2%, 67,2 a 71,2% e 77 a 81,6, 73,3 a 76,6, 68,8 a 70,7, 68,3 a 69,1 respectivamente. As referidas faixas foram ajustadas pelo sistema de acordo com a idade das aves.

A avaliação do equipamento proposto foi feita com base na capacidade do controlador *fuzzy* automatizado em manter as variáveis térmicas, t_{bs} , t_{gn} , e UR nos boxes no lado A dentro dos limites considerados confortáveis para as aves previstos na literatura.

2.1 Arquitetura do controlador *FUZZY* – *HARDWARE*

Procedeu-se à montagem e testes do circuito eletrônico do protótipo, ajustando o *software* desenvolvido e simulado, programando os seus componentes e calibrando os sensores utilizados para coletar os parâmetros climáticos. Na Figura 6 pode-se observar o circuito eletrônico implementado.

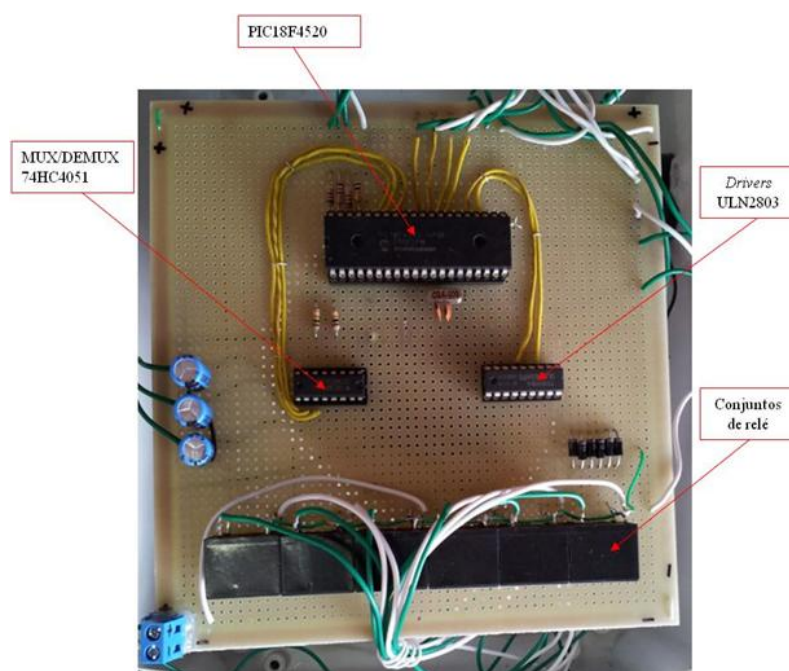


Figura 6 Montagem do protótipo do controlador *fuzzy* em circuito impresso

O microcontrolador utilizado foi o PIC 18F4520, da empresa americana *Microchip*. Trata-se de um microcontrolador de uso geral, empregado em sistema de automação e controle, porém, de baixo custo, visando minimizar o custo global do sistema, o que o torna uma opção viável técnica e economicamente. O controlador *fuzzy* por meio de *software* embarcado possui a responsabilidade de acionar, de forma automatizada, via transdutores, os

ventiladores, o sistema de aquecimento, nebulizadores, o sistema de alarmes sonoro e visual e os temporizadores.

Para coletar os dados das variáveis t_{bs} e t_{gn} foi utilizado o sensor de temperatura LM35, produzido pela *National Semiconductor Corporation*. Para a coleta dos dados da variável t_{gn} foi introduzido no interior de um globo de plástico, com diâmetro de 15 cm, pintado na cor preta, calibrado contra o globo padrão, produzido em cobre com 0,15 cm de diâmetro e 0,005 cm de espessura um sensor de temperatura LM35. A coleta dos sinais referentes à variável UR foi feita utilizando o sensor de umidade relativa do ar HIH-4000 da *Honeywell International Inc*, o qual funciona em uma faixa de 2% a 100%, emitindo um sinal correspondente de 0 a 4Vcc, com alimentação de +5V, o que possibilita sua conexão direta ao pino do conversor A/D do PIC.

2.2 Arquitetura do SOFTWARE

O *software* desenvolvido para o controle e supervisão dos parâmetros t_{bs} e t_{gn} foi feito na linguagem C. Na Figura 7 pode-se observar o fluxograma simplificado do algoritmo contendo as instruções do *software* que foi embarcado no PIC18F4520.

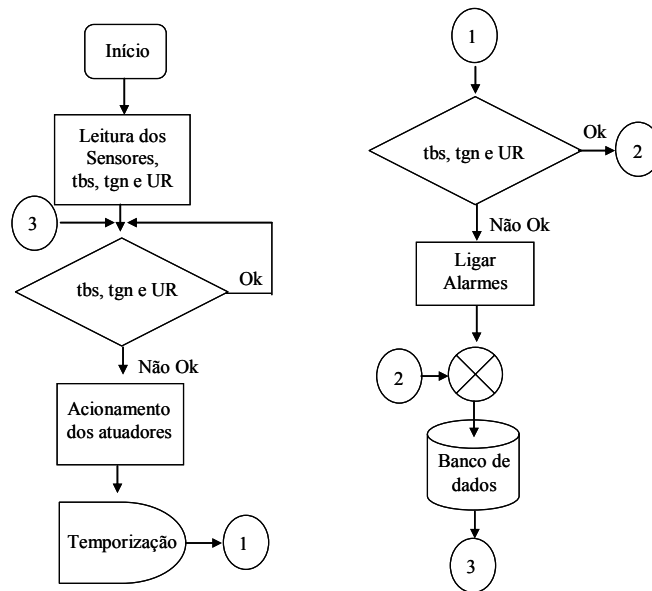


Figura 7 Fluxograma simplificado para o controle da temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de globo negro (t_{gn}) e umidade relativa do ar (UR)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação do protótipo do controlador *fuzzy* construído foi feita por meio da comparação entre as variações de t_{bs} , t_{gn} e UR medidas com sensores no interior dos boxes lado A e ITGU obtido em função de t_{bs} , t_{gn} e UR em relação aos valores medidos e coletados pelos *dataloggers* Hobo instalados na parte interna (lado B) e externa do galpão e análises de desempenho das aves.

Os termos linguísticos para configuração do controlador *fuzzy* foram associados de acordo com as faixas apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3 para as 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semanas. Para a variável linguística t_{bs} , foram atribuídos os domínios nos intervalos (25,5 34,5), (22,5 31,5), (19,5 28,5) e (16,5 25,5) representando as faixas (27; 28; 30; 31 e 33), (24, 25, 27, 28 e 30), (21, 22, 24, 25 e 27) e (18, 19, 21, 22 e 24) pelos termos: muito baixa, baixa, ideal, alta e muito alta correspondentes as 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semanas, respectivamente. As funções de pertinência atribuídas igualmente a todas as semanas são triangulares simétricas. Para a variável linguística UR, foi atribuído o domínio no intervalo (30 80) e os termos: muito baixa, baixa, ideal, alta e muito alta de acordo com os intervalos da Tabela 2 (40; 50; 60, 70 e 80), também com funções de pertinência triangular simétrica. Em conformidade com os estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2006), foram atribuídas as mesmas faixas de domínio referenciadas para UR para as 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semanas de vida das aves.

A Tabela 3 mostra a relação entre níveis de qualidade do conforto térmico animal e as respectivas ações necessárias para garantir o ambiente térmico adequado às aves. As bases de regras para o controlador *fuzzy* podem ser implementadas com base no conhecimento de especialista do processo, as quais são tratadas de forma linguística na estrutura “if then” (se-então). Contudo, para este trabalho, dispensou-se de conhecimentos detalhados, precisos e até mesmo do modelo matemático representativo da planta de controle. Dessa forma, as

bases de regras compostas foram construídas com base nos estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2006) e CORDEIRO et al. (2010) e pela modelagem e simulação referenciadas que são apresentadas na Tabela 2. Exemplificando, as primeiras três regras do controlador *fuzzy* implementadas e a última são representadas como segue:

- 01 - **Se** (t_{bs} é **MB**) **e** (UR é **MB**) **Então** (conforto térmico é **R**);
 02 - **Se** (t_{bs} é **B**) **e** (UR é **MB**) **Então** (conforto térmico é **R**);
 03 - **Se** (t_{bs} é **I**) **e** (UR é **MB**) **Então** (conforto térmico é **M**);
 ...
 25 - **Se** (t_{bs} é **MA**) **e** (UR é **MA**) **Então** (conforto térmico é **R**).

em que, Muito alta(MA), Muito baixa(MB), Ruim (R), Baixa (B) e Ideal (I), Médio (M).

Tabela 3 Relação entre conforto térmico animal e as ações necessárias

Sigla	Conforto Térmico	Ação necessária
MB	Muito bom	Nenhuma ação
B	Bom	Normal
M	Médio	Alerta
R	Ruim	Perigo

3.1 Processo de DEFUZZYFICAÇÃO

O processo da defuzzyficação consiste em transformar o conjunto *fuzzy* que está no lado consequente da regra, que neste trabalho é o “conforto térmico” em um valor numérico equivalente, o qual é mais adequado para este processo. Dessa forma, com relação aos limites do conforto térmico para frangos de corte, foi atribuído para esta variável os termos linguísticos: muito bom; bom; médio e ruim, num domínio (0, 1) e funções de pertinência trapezoidais simétricas, de

forma que o valor próximo de zero (“0”) indica a pior sensação de conforto térmico, e próximo de 1, o estado pleno de conforto térmico.

A implementação prática da defuzzyficação para o controlador *fuzzy* foi feita com base no mesmo método utilizado na simulação, ou seja, o denominado centro de gravidade, que consiste em se calcular a média ponderada entre os valores do universo de saída considerando os graus de pertinência como pesos (LEE, 1990). Dessa forma, o valor de saída (Δt), o qual representa a variação da t_{bs} (°C) pode ser obtido a partir da equação (3).

$$\Delta t = \frac{\sum_{k=1}^N \mu(dt_k) \cdot dt_k}{\sum_{k=1}^N \mu(dt_k)} \quad (3)$$

em que, dt_k representa o valor discreto de dt e $\mu(dt_k)$ é o grau de pertinência associado a cada dt_k pertencente a região ativa.

3.2 Validação do protótipo do controlador *FUZZY*

A Figura 8 mostra que as estimativas para t_{bs} (A) ao longo de todo experimento teve influência direta das variações da temperatura externa t_{bs} (ext) ao galpão registrada pelo *dataloggers* do Hobo e t_{bs} (B) os valores coletados no lado com controle manual, cuja média foi de 16,78 °C t_{bs} (A), 29,56 °C t_{bs} (ext) e 23,84 °C para t_{bs} (B) 1ª semana, respectivamente, e 18,8 °C t_{bs} (A), 28,23 °C t_{bs} (ext) e 26,41 °C para t_{bs} (B) 2ª semana, respectivamente. Estes valores para t_{bs} eram esperados, pois o controlador *fuzzy* acionou o sistema de aquecimento todas as vezes que a temperatura no interior do box registrava valores inferiores a 30°C para a 1ª semana e 27 °C para a 2ª semana.

Observa-se pelas Figuras 9 e 10 que a estimativa da média para t_{bs} (A) medida pelo controlador *fuzzy* no interior do box lado A em relação a t_{bs} (ext) medida na parte externa do galpão pelo *dataloggers* Hobo apresentou estatisticamente uma correlação muito próxima, ou seja, $R = 0,687$ para a 1ª semana e $R = 0,602$ para a 2ª semana, sendo que o desvio padrão entre as duas variáveis foi de 2,07 e 6,81, 1,33 e 5,57, 1ª e 2ª semana, respectivamente.

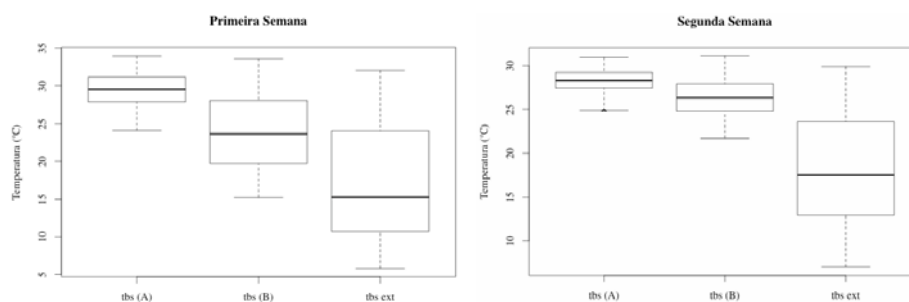


Figura 8 Boxplot para as temperaturas médias t_{bs} (A) (°C), t_{bs} (B) (°C) e t_{bs} (ext) (°C) em função da idade das aves 1ª e 2ª semanas

Entretanto, observa-se pela Figura 9 que a t_{bs} (A) controlada automaticamente forneceu um ambiente com temperaturas inferiores ao desejado pelas aves, influenciada pelas baixas temperaturas ocorridas no terceiro ao quinto dia de vida das aves nos horários entre 5h e 6h30min, que ficou em média 6 °C. De acordo com OLIVEIRA et al. (2006) e CORDEIRO et al. (2010), os valores ideais para t_{bs} (A) para a primeira semana de vida das aves deveriam ficar entre 30 e 33°C. Este fato pode ter ocorrido por ineficiência do sistema de aquecimento, por meio de lâmpadas de infravermelho de 250 W/220V, que não cobria uniformemente toda a área do box. Uma possível solução para este caso seria utilizar sistema de aquecimento por meio de campânulas a gás. Verificam-se também pelas Figuras 9 e 10 que os valores médios de t_{bs} detectados pelos sensores do controlador *fuzzy* (lado A) t_{bs} (A) em

relação aos valores médios de t_{bs} medidos no interior do box (lado B) pelo *dataloggers* Hobo t_{bs} (B) foram de 29,56 e 23,84 (°C) , 28,23 e 26,41(°C) para as 1ª e 2ª semanas, respectivamente. Esta diferença entre os valores medidos era esperada, pois o controle da t_{bs} (A) foi automatizado pelo sistema *fuzzy* e o controle da t_{bs} (B) foi feito de forma convencional. Observa-se também pelas Figuras 8A e 9 que, excluindo os horários de 4h a 7h entre o 3º e 5º dia de vida das aves, o controlador *fuzzy* manteve a t_{bs} (A) dentro dos limites considerados confortáveis pelas aves, conforme recomendado pelos referidos autores.

Pelas Figuras 8 e 10 conclui-se que as variações da t_{bs} (A) correspondentes a 2ª semana ficaram dentro dos limites considerados confortáveis durante todo o tempo observado, ou seja, entre 27 e 30 °C conforme estudos realizados (OLIVEIRA et al., 2006; CORDEIRO et al.,2010).

Para o ITGU (Figuras 9 e 10) observa-se estatisticamente que os valores que provocaram desconforto às aves ficaram em média menores que 17,4 % para a 1ª semana e para 2ª semana apenas 0,1% dos valores ficam fora dos limites recomendados. Os valores médios e os desvios padrões do ITGU observados ao longo do experimento foram de 80,14 e 1,94 para a 1ª semana, respectivamente, e 77,82 e 1,53 para 2ª semana, respectivamente. Estes valores mostram-se promissores, tendo em vista que o protótipo do controlador *fuzzy* composto de *software* e *hardware* desenvolvido foi capaz de manter os valores do ITGU 82,6 % dentro dos limites considerados confortáveis para aves na 1ª semana e 99,99% na 2ª semana, que são valores recomendados nos estudos de OLIVEIRA et al. (2006).

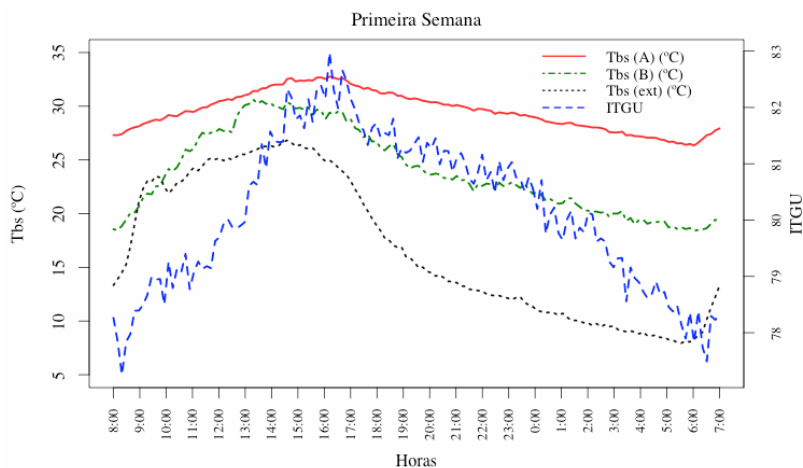


Figura 9 Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) ($^{\circ}\text{C}$), em função dos horários observados e estimativa do ITGU

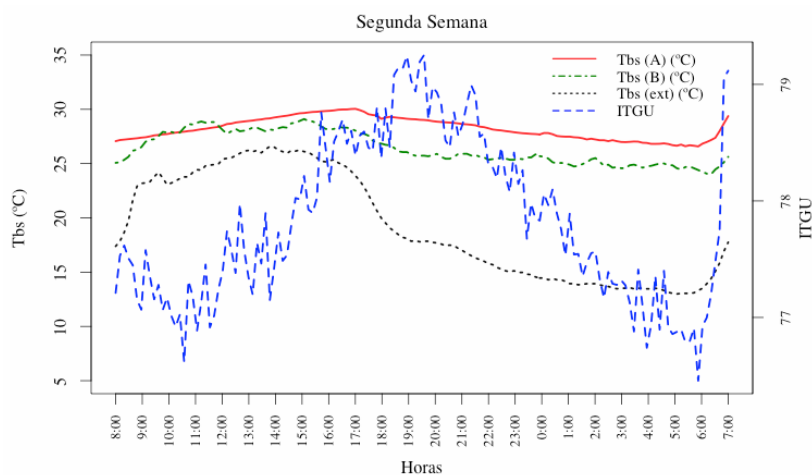


Figura 10 Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) ($^{\circ}\text{C}$), em função dos horários observados e estimativa do ITGU

A temperatura de bulbo seco medida no interior do box lado A t_{bs} (A) ($^{\circ}\text{C}$) medida pelo sensor do controlador *fuzzy*, temperatura de bulbo seco medida no interior do box lado B t_{bs} (B) ($^{\circ}\text{C}$) com controle manual, temperatura de bulbo seco medida na parte externa do galpão t_{bs} (ext) ($^{\circ}\text{C}$) ambos registrados pelo *dataloggers* Hobo durante as 3^a e 4^a semanas são mostrados na Figura 11.

Conforme resultado de análises estatísticas mostrados na Figura 11 para as 3^a e 4^a semanas comprovou-se que houve diferença significativa entre t_{bs} (A) ($^{\circ}\text{C}$) e t_{bs} (ext) ($^{\circ}\text{C}$), sendo que a média e os desvios padrões ficaram em 24,72 e 18,02 ($^{\circ}\text{C}$), 1,83 e 6,55 ($^{\circ}\text{C}$), 23,37 e 19,33 ($^{\circ}\text{C}$), 2,80 e 7,65 ($^{\circ}\text{C}$), respectivamente. Para esta análise tem-se correlação $R = 0,695$ e $R = 0,842$ para as 3^a e 4^a semanas, respectivamente, cujo resultado é satisfatório, pois, as variações da t_{bs} (A) foram acompanhadas pelas variações da t_{bs} (ext) em 84% aproximadamente durante todo o experimento. Em relação aos valores médios para t_{bs} (B) foi de 24,34 $^{\circ}\text{C}$ e 24,05 $^{\circ}\text{C}$ nas 3^a e 4^a semanas, respectivamente. Com base na temperatura de conforto sugerida por OLIVEIRA et al. (2006) e CORDEIRO et al. (2010), que consideram em média faixa de 24 a 27 $^{\circ}\text{C}$ e 21 a 24 $^{\circ}\text{C}$ ideais para aves que se encontram nas 3^a e 4^a semanas de vida, respectivamente, pode-se inferir que o protótipo do controlador *fuzzy* testado não proporcionou estresse térmico às aves durante todo o experimento.

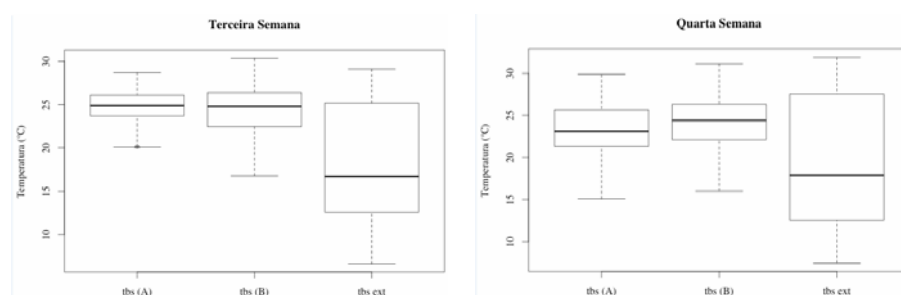


Figura 11 Boxplot para as temperaturas médias t_{bs} (A) ($^{\circ}\text{C}$), t_{bs} (B) ($^{\circ}\text{C}$) e t_{bs} (ext) ($^{\circ}\text{C}$) em função da idade das aves 3^a e 4^a semanas

Considerando que o sistema de nebulização e ventiladores foram acionados toda vez que a t_{bs} (A) ultrapassou as faixas superiores correspondentes às 3ª e 4ª semanas, ou seja, 27 °C e 24 °C. Observa-se pelas Figuras 12 e 13 que isto ocorreu entre 12h e 17h30 ao longo da semana. O sistema de nebulização só foi acionado quando a UR (A) ficou abaixo de 50% ou para pequenos intervalos quando a t_{bs} (A) ultrapassou 27 °C e 24 °C (3ª e 4ª semanas) dependendo do limite superior da UR. Para os casos em que a t_{bs} (A) ficou abaixo das faixas inferiores correspondentes as 3ª e 4ª semanas, isto é, 24 e 21 °C, o sistema de aquecimento foi acionado. Observa-se também pelas Figuras 12 e 13 que tal acionamento sempre ocorreu no período de 21h às 6h ao longo da semana.

Nota-se pelas Figuras 12 e 13 que os valores médios estimados de t_{bs} coletados pelos sensores do controlador *fuzzy* (lado A) t_{bs} (A) em relação aos valores médios estimados de t_{bs} medido no interior do box (lado B) pelo *dataloggers* Hobo t_{bs} (B) foram de 24,72 e 24,34 (°C), 23,37 e 24,05 (°C) para as 3ª e 4ª semanas, respectivamente. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as variáveis relacionadas. Estes resultados eram esperados, tendo em vista que os valores médios estimados para t_{bs} (A) e t_{bs} (ext) para as 3ª e 4ª semanas foram 24,72 e 18,02 (°C), 23,37 e 19,33 (°C), respectivamente, período entre o 15º ao 28º dia de vida das aves. Apesar de o sistema de nebulização ser acionado todas as vezes que a t_{bs} (A) atingisse o limite superior de 27 (°C) para a 3ª semana e 24 (°C) para a 4ª semana os valores médios para as t_{bs} (ext) foram 18,02 e 19,33 (°C), respectivamente.

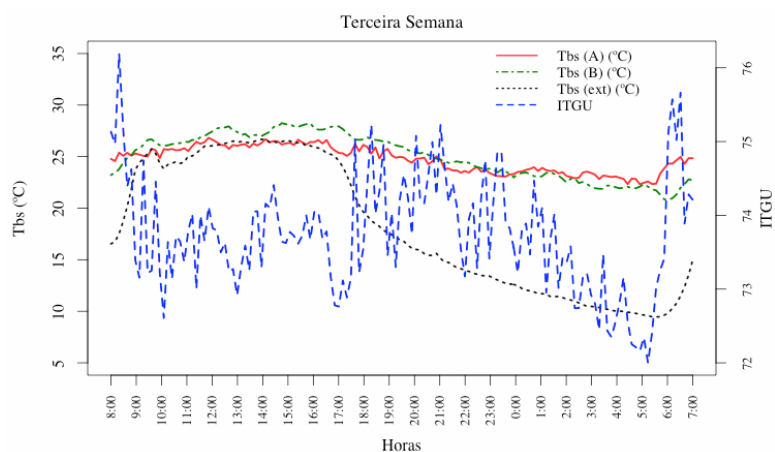


Figura 12 Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) (°C), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) (°C), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) (°C), em função dos horários observados e estimativa do ITGU

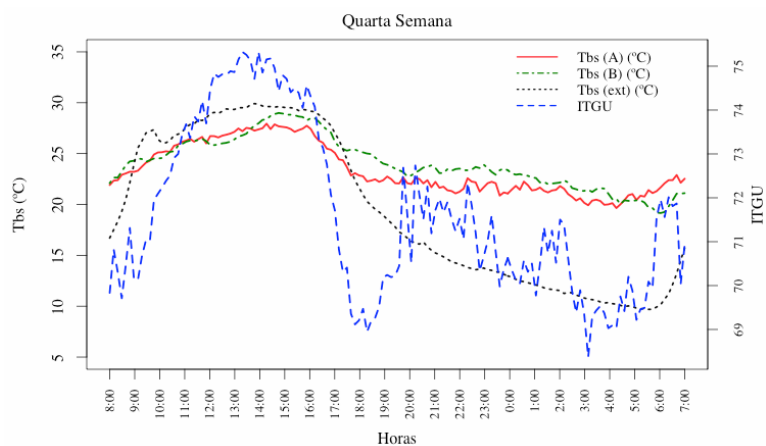


Figura 13 Valores médios observados e estimados da temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (A) (°C), temperatura de bulbo seco externa (t_{bs}) (ext) (°C), temperatura de bulbo seco (t_{bs}) (B) (°C), em função dos horários observados e estimativa do ITGU

Observa-se também pelas Figuras 12 e 13 que os valores médios estimados e os desvios padrões do ITGU observados ao longo do experimento foram de 73,74 e 2,43 para a 3ª semana e 71,64 e 2,52 para 4ª semana, respectivamente. Estes resultados eram esperados, tendo em vista que o protótipo do controlador *fuzzy* em função da t_{bs} , t_{gn} e UR foi capaz de manter os valores do ITGU 98,6 % dentro dos limites considerados confortáveis para aves na 3ª semana e 91,6% na 4ª semana, que está em conformidade com os limites recomendados em estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2006).

Em relação à UR, de acordo com as Figuras 14 e 15 referentes às 3ª e 4ª semanas de vida das aves, houve diferenças estatísticas significantes entre os valores medidos pelo sensor do controlador *fuzzy* no interior do galpão (box) UR (A) em relação ao valor medido pelo *dataloggers* Hobo na parte externa do galpão UR (ext) durante o período de observação. Os valores médios estimados e os desvios padrões da UR (A) e UR (ext) observados ao longo do experimento foram de 67,77%, 57,96% e 9,58, 24,24 para a 3ª semana e 65,20%, 53,34% e 8,44, 24,19 para 4ª semana, respectivamente. Os índices de correlação entre UR (A) e UR (ext) foram $R = 0,731$ e $R = 0,687$ para as 3ª e 4ª semanas, respectivamente. Estes resultados estão em conformidade com as faixas de UR consideradas ideais, associadas às temperaturas de conforto das aves, segundo OLIVEIRA et al. (2006) e CORDEIRO et al. (2010).

De acordo com estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2006), os valores de UR considerados confortáveis para frangos de corte para as 3ª e 4ª semanas de vida das aves encontram-se na faixa de 60 a 71% em média. Entretanto, dos valores percentuais para UR (A) obtidos no presente estudo, apenas 41,5% e 43% ficaram dentro desta faixa nas 3ª e 4ª semanas, respectivamente. Porém, de acordo com estudos realizados por SANTOS et al. (2009) e CORDEIRO et al. (2010), a faixa ideal, associada à t_{bs} de conforto das aves é de 50 a 70% em média. Com base nessa recomendação, analisando as

Figuras 14 e 15, apenas 3,3% dos valores de UR (A) ficaram abaixo de 50% na 3ª semana e 2,5% na 4ª semana, onde as t_{bs} (A) médias para estes períodos ficaram em 24,72 °C e 23,37°C, respectivamente. Os valores percentuais de UR (A) que ultrapassaram 70% no período foram 24,20 e 12,50% para as 3ª e 4ª semanas, respectivamente. Analisando as Figuras 14 e 15 explica-se esse fato pelos altos valores médios da UR (ext) nos horários entre 23h e 7h30 que foram 83,50% e 79,13% para as 3ª e 4ª semanas, respectivamente.

Observa-se também, pelas Figuras 14 e 15, que os valores médios estimados de UR coletados pelos sensores do controlador *fuzzy* (lado A) UR (A) em relação aos valores médios estimados de UR coletado no interior do box (lado B) pelo *dataloggers* Hobo UR (B) foram de 67,71 e 38,36 (%), 65,20 e 40,20 (%) para as 3ª e 4ª semanas, respectivamente.

Os ventiladores foram acionados todas as vezes que os sensores da UR (A) do controlador *fuzzy* detectaram valores superiores à faixa limite considerada confortável para as aves, conforme rotina do controlador *fuzzy* da Figura 7. Para valores inferiores a esta faixa foi acionado o sistema de nebulização, também de acordo com a rotina da Figura 7.

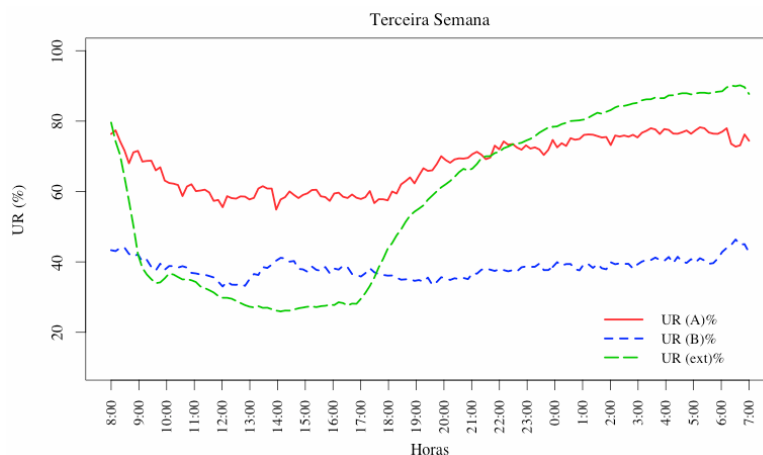


Figura 14 Valores médios observados e estimados da umidade relativa do ar UR (A) (%), UR (B) (%) e UR (ext) (%), em função dos horários

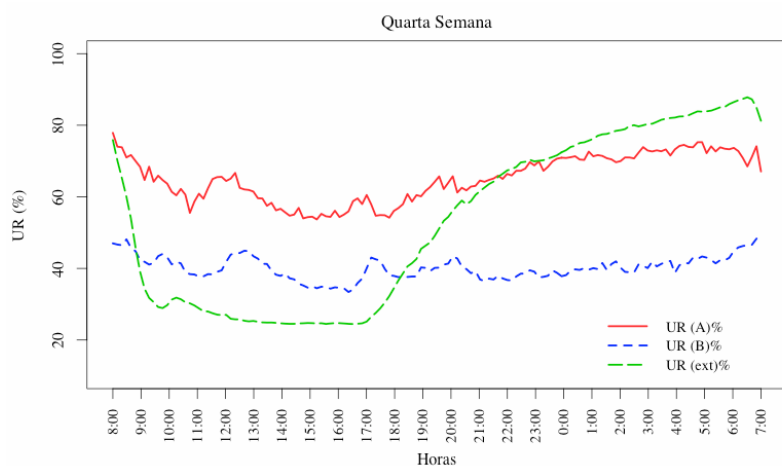


Figura 15 Valores médios observados e estimados da umidade relativa do ar UR (A) (%), UR (B) (%) e UR (ext) (%), em função dos horários

3.3 Avaliação do desempenho das aves

A Tabela 4 mostra os valores médios para os índices de desempenho observados nas 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semanas de vida das aves, como o consumo de ração, peso vivo, conversão alimentar, taxa de mortalidade, correspondentes ao tratamento com (controlador *fuzzy*) boxes lado A do galpão e lado B tratamento com controle convencional.

Tabela 4 Valores médios observados e estimados do ganho de peso (GP), consumo de ração (CR), conversão alimentar (CA), valores de p e taxa de mortalidade manual (TM) e *fuzzy* (TF) observados 24h por dia durante 28 dias de vida das aves nos controles *fuzzy* (CF) e manual (CM). Valores em Kg.

	SEMANAS											
	1 ^a			2 ^a			3 ^a			4 ^a		
	GP	CR	CA	GP	CR	CA	GP	CR	CA	GP	CR	CA
p	0,56	0,001	0,06	0,001	0,001	0,53	0,001	0,001	0,93	0,01	0,001	0,02
CF	0,14	0,26	1,81	0,29	0,36	1,24	0,40	0,58	1,45	0,57	0,94	1,65
CM	0,12	0,23	1,92	0,24	0,33	1,38	0,35	0,50	1,42	0,57	1,0	1,75
TF		0,0%			2,0%			0,0%			1,0%	
TM		1,0%			1,0%			2,0%			0,0%	

Analisando os dados da Tabela 4 observa-se que houve efeito significativo ($p < 0,05$) no controle *fuzzy* em relação ao controle manual para a variável CR na 1^a semana, onde as aves submetidas ao controle *fuzzy* apresentaram melhor GP e melhor CA, contudo, não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) para estas variáveis. Os tratamentos experimentais com controlador *fuzzy* influenciaram as variáveis GP e CR ($p < 0,05$) na 2^a semana de vida das aves, contudo, a variável CA não foi influenciada ($p > 0,05$) pelo tratamento manual utilizado. Este efeito do sistema sobre o GP e CR ocorreu provavelmente devido à eficiência do controle dos parâmetros térmicos ambientais t_{bs} , t_{gn} e UR com o acionamento dos equipamentos de climatização pelo controlador *fuzzy*. Os valores médios da t_{bs} e ITGU ocorridos nessas semanas foram 29,56 °C e 80,15, respectivamente na 1^a semana e 28,23 °C e 77,82, respectivamente na 2^a semana (Figuras 9 e 10). Esses valores estão em conformidade com os valores encontrados em pesquisas realizadas por OLIVEIRA et al. (2006), SANTOS et al. (2009) e CORDEIRO et al. (2010).

Na terceira semana de vida as aves mantidas no tratamento com controle *fuzzy* em relação ao tratamento manual demonstraram diferença significativa ($p < 0,05$) para GP e CR. Porém, para CA não houve diferença significativa ($p >$

0,05). Os valores médios para t_{bs} , UR e ITGU para esta semana foram de 24,72°C, 67,77% e 73,74 respectivamente. Os valores médios para estes parâmetros recomendados em estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2006) para o mesmo período, são 26,4°C, 68,45% e 69,75, respectivamente. Analisando a Figura 12 verifica-se que no período entre 5h e 6h30 o valor médio para t_{bs} ext foi de 9,76°C, enquanto que para o parâmetro t_{bs} controlado pelo sistema *fuzzy* foi de 24,72°C.

Na quarta semana de vida das aves as respostas produtivas com controlador *fuzzy* apresentaram melhor GP, CR e CA em relação ao tratamento manual comprovado pela diferença significativa entre os dois tratamentos ($p < 0,05$) para estas variáveis. Estes resultados são justificados pelo controle automatizado dos parâmetros t_{bs} , UR e t_{gn} feito pelo sistema *fuzzy*, cujos valores médios foram 23,37 °C, 65,20% e 71,64, respectivamente. Estes valores estão de acordo com estudos realizados por OLIVEIRA et al. (2006) e CORDEIRO et al. (2010) que afirmam que t_{bs} variando em média de 20 a 24°C neste período de vida das aves os valores médios de UR e ITGU que proporcionam conforto às aves deverão ficar entre 60 a 70% e 68 a 72, respectivamente.

Considerando as quatro semanas do experimento com aves com idade entre 1 e 28 dias conclui-se que os valores médios para t_{bs} , t_{bs} ext e ITGU coletados nessas semanas pelo controlador *fuzzy* foram 29,56 °C, 16,78°C e 80,15, respectivamente na 1ª semana, 28,23 °C, 18,08 °C e 77,82, respectivamente na 2ª semana, 24,72 °C, 18,02 °C e 73,74, respectivamente na 3ª semana e 23,37 °C, 19,33 °C e 71,64, respectivamente na 4ª semana. Dessa forma, pode-se afirmar que o controlador *fuzzy* foi capaz de manter os parâmetros climáticos considerados no experimento dentro das faixas consideradas confortáveis para aves de 1 a 28 dias de vidas de acordo com estudos de OLIVEIRA et al. (2006), SANTOS et al. (2009) e CORDEIRO et al. (2010).

4 CONCLUSÕES

O sistema automatizado embarcado em microcontrolador PIC, composto de *software e hardware*, 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 pelo controlador *fuzzy* na 1ª semana não apresentaram estatisticamente diferenças significativas entre os dois tratamentos. Contudo, os resultados fisiológicos obtidos pelo controlador *fuzzy* boxes lado A (automatizado) foram melhores. Já para as 2ª, 3ª e 4ª semanas apresentaram diferenças significativas entre os dois tratamentos além dos resultados fisiológicos obtidos pelo controlador *fuzzy* serem melhores.

Os resultados mostraram que o controlador *fuzzy* observado no experimento, na maior parte do tempo foi capaz de manter os parâmetros climáticos dentro das faixas consideradas confortáveis pela literatura referenciada.

REFERÊNCIAS

- 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.
- CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; SILVA, J. N.; VIGODERIS, R. B.; PINTO, F. A. C.; CECON, 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, MG, v.39, n.1, p.217-224, 2010.
- DAMASCENO, F. A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; GOMES, R. C. C.; MORA, S. R. P. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p. 1031-1038, jul./ago. 2010.
- HAHN, F. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses, Computers and Electronics in Agriculture. **An International Journal**, México, v.77, p.21-27, Feb./Mar. 2011.
- LEE, C. C. “Fuzzy Logic in control systems: fuzzy logic controller - parts I e II”. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.20, n.2, p.404-435, mar/apr. 1990.
- MOURA, D.J.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O.; CARVALHO, T.M.R.; MAIA, A.P.A.M. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.39, p. 311-316, Jul. 2010.
- NASCIMENTO JUNIOR, C. L.; YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em Controle e Automação**. São Paulo: Edgar Blucher, 2008. p.68-91. (Engenharia e Tecnologia).
- NAZARENO, A. C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.802–808, mar. 2009.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NAAS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 300-307, maio/ago. 2005.

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, MG, v.35, n.3S, p. 797-803, May/June 2006. Suplemento.

PEREIRA, D. F.; BIGHI, C. A.; FILHO, L. R. G.; GABRIEL, C. P. C. Sistema *fuzzy* para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, out./dez. 2008.

PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A. Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis. **Computers and Electronics in Agriculture, An International Journal**, Davis, v.62, n.1, p.2-7, June 2008.

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.; CECON, 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**, Viçosa, MG, v.56, n.2, p.172-180, mar./abr. 2009.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBA. Disponível em: <http://www.abef.com.br/ubabef/publicacoes_relatoriosanuaisuba.php>. Acesso em: 15 nov. 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**, Australia, v.12, n.5, p.303-316, 2010.

ANEXOS

Anexo 1 – *Software* desenvolvido na linguagem C para o controlador *fuzzy* de ambiência

CONTROLADOR FUZZY DE AMBIENCIA - PROGRAMA PIC18F4520

PROGRAMA UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DO CONTROLADOR DE AMBIÊNCIA (V.73)

PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS – UFLA

SOFTWARE ELABORADO PELO DOUTORANDO PAULO ALECRIM

PROGRAMA TESTADO POR 28 DIAS NO GALPÃO EXPERIMENTAL IFMG BAMBUI

```
#define TAMVETOR 220
```

```
unsigned int vetor[TAMVETOR];
unsigned int pos1 = 0, pos2 = 0, pos3 = 0, vetCheio = 0, ktemp = 0, ntemp = 0;
const int UR_min = 50, UR_max = 70, ITGU_min = 68, ITGU_max = 82;
unsigned int UR_sensor = 0, Temp_sensor = 0, Temp_ref = 0, ITGU = 0, Tgn = 0;
unsigned int Temp_refa = 0, Temp_var = 4;
```

```
sbit LCD_RS at RE2_bit;
sbit LCD_EN at RE1_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
```

```
sbit LCD_RS_Direction at TRISE2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISE1_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
```

```
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
```

MÓDULO PARA GRAVAR EM RAM MEDIDAS DO SENSOR TEMP

```
void save_Temp (Temp_sensor)
{
  vetor[pos1] = Temp_sensor;
  pos1++;
  if(pos1 >= TAMVETOR)
  {
    vetCheio = 1;
    pos1 = 0;
  }
}
```

MÓDULO PARA GRAVAR EM RAM MEDIDAS DO SENSOR UR

```
void save_UR (UR_sensor)
{
  vetor[pos2+73] = UR_sensor;
  pos2++;
  if(pos2+73 >= TAMVETOR)
  {
    vetCheio = 1;
    pos2 = 0;
  }
}
```

MÓDULO PARA GRAVAR EM RAM MEDIDAS DO SENSOR Tgn

```
void save_Tgn (Tgn)
{
  vetor[pos3+146] = Tgn;
  pos3++;
  if(pos3+146 >= TAMVETOR)
  {
    vetCheio = 1;
    pos3 = 0;
  }
}
```

```

void save_data()
{
  if (ntemp == 2360)
  {
    save_Temp();
    save_UR();
    save_Tgn();
    ntemp = 0;
  }
}

```

```

void read_ajust_Temp()
{
  unsigned float Read1 = 0, Temp_ref1 = 0;
  char texto1[16];

  Read1 = adc_read(1);
  Temp_ref1 = Read1*(500.00/1023.00);
  Temp_ref = (int)Temp_ref1;
  Temp_refa = Temp_ref + Temp_var;
  IntToStr(Temp_ref,texto1);
  Lcd_out(3,0,texto1);
  Lcd_out(3,6,"C");
  delay_ms(1);
}

```

LEITURA DOS TRÊS SENSORES DE TEMPERATURA Tbs

Ajuste da temperatura para 1ª, 2ª, 3ª ou 4ª semana
 Ex. 1ª = 30 - 33°C / 2ª = 27 - 30°C / 3ª = 24 - 27°C / 4ª = 21 - 24°C

```

void read_Temp()
{
  unsigned float Temp_sensor3 = 0;
  unsigned float Leitura1 = 0, Temp_sensor1 = 0, Temp_sensor2 = 0;
  unsigned float Temp_1 = 0, Temp_2 = 0, Temp_3 = 0;
  char texto2[16];
  float T1=0,T2=0,T3=0,T4=0,T5=0,T6=0,T7=0,T8=0,T9=0,T10=0;
  float R1=0, R2=0, R3=0, R4=0, R5=0, R6=0, R7=0, R8=0, R9=0, R10=0;
  float Q1=0, Q2=0, Q3=0, Q4=0, Q5=0, Q6=0, Q7=0, Q8=0, Q9=0, Q10=0;
}

```

Leitura do pino 13 do MUX CI74HC4051

```
portb.f0 = 0;
portb.f1 = 0;
portb.f2 = 0;
delay_ms(10);
Leitura1 = adc_read(0);
Temp_sensor1 = ((float)(Leitura1*(500.00/1023.00)));
Temp_1 = Temp_sensor1;
```

Leitura do 2º sensor de temperatura LM35
Leitura do pino 14 do MUX CI74HC4051

```
portb.f0 = 1;
portb.f1 = 0;
portb.f2 = 0;
delay_ms(10);
Leitura1 = adc_read(0);
Temp_sensor1 = ((float)(Leitura1*(500.00/1023.00)));
Temp_2 = Temp_sensor1;
```

Leitura do 3º sensor de temperatura LM35
Leitura do pino 15 do MUX CI74HC4051

```
portb.f0 = 0;
portb.f1 = 1;
portb.f2 = 0;
delay_ms(10);
Leitura1 = adc_read(0);
Temp_sensor1 = ((float)(Leitura1*(500.00/1023.00)));
Temp_3 = Temp_sensor1;
Temp_sensor2 = (int)((Temp_1 + Temp_2 + Temp_3)/3);
```

CONSTRUÇÕES DAS REGRAS FUZZY PARA Tbs (°C)

```
T1 = (Temp_sensor2 - (Temp_ref - 4.5) / 1.5);
if (T1 >=0 ee T1 <=1)Q1 = T1;
if (T1 >=0 ee T1 <=1) R1 = T1 * (Temp_ref - 1.5);
```

```
T2 = (((Temp_ref - 1.5) - Temp_sensor2)/1.5);
if (T2 >=0 ee T2 <=1)Q2 = T2;
```



```

if (T2 >=0 ee T2 <=1) R2 = T2*(Temp_ref - 1.5);

T3 = (Temp_sensor2 - (Temp_ref - 3.5) / 1.5);
if (T3 >= 0 ee T3 <= 1) Q3 = T3;
if (T3 >= 0 ee T3 <= 1) R3 = T3 * (Temp_ref - 0.5);

T4 = (((Temp_ref - 0.5) - Temp_sensor2) / 1.5);
if (T4 >= 0 ee T4 <= 1) Q4 = T4;
if (T4 >= 0 ee T4 <= 1) R4 = T4 * (Temp_ref - 0.5);

T5 = (Temp_sensor2 - (Temp_ref - 1.5) / 1.5);
if (T5 >= 0 ee T5 <= 1) Q5 = T5;
if (T5 >= 0 ee T5 <= 1) R5 = T5 * (Temp_ref + 1.5);

T6 = (((Temp_ref + 1.5) - Temp_sensor2) / 1.5);
if (T6 >= 0 ee T6 <= 1) Q6 = T6;
if (T6 >= 0 ee T6 <= 1) R6 = T6 * (Temp_ref + 1.5);

T7 = (Temp_sensor2 - (Temp_ref - 0.5) / 1.5);
if (T7 >= 0 ee T7 <= 1) Q7 = T7;
if (T7 >= 0 ee T7 <= 1) R7 = T7 * (Temp_ref + 2.5);

T8 = (((Temp_ref + 2.5) - Temp_sensor2) / 1.5);
if (T8 >= 0 ee T8 <= 1) Q8 = T8;
if (T8 >= 0 ee T8 <= 1) R8 = T8 * (Temp_ref + 2.5);

T9 = (Temp_sensor2 - (Temp_ref + 1.5) / 1.5);
if (T9 >= 0 ee T9 <= 1) Q9 = T9;
if (T9 >= 0 ee T9 <= 1) R9 = T9 * (Temp_ref + 4.5);

T10 = (((Temp_ref + 4.5) - Temp_sensor2) / 1.5);
if (T10 >= 0 ee T10 <= 1) Q10 = T10;
if (T10 >= 0 ee T10 <= 1) R10 = T10 * (Temp_ref + 4.5);

Temp_sensor3 = (R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R10);
Temp_sensor =
(Temp_sensor3/(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8+Q9+Q10));
IntTostr(Temp_sensor,texto2);
Lcd_out(2,8,texto2);
delay_ms(1);
}

```

LEITURA DOS TRÊS SENSORES DE UMIDADE UR%

```

void read_Umid()
{
  unsigned float Vref = 0, UR_sensor2 = 0, Res = 0, UR_1 = 0, UR_2 = 0,
  UR_3 = 0;
  unsigned float UR_sensor3 = 0;
  char texto3[16];
  float T1=0,T2=0,T3=0,T4=0,T5=0,T6=0,T7=0,T8=0,T9=0,T10=0;
  float R1=0, R2=0, R3=0, R4=0, R5=0, R6=0, R7=0, R8=0, R9=0, R10=0;
  float Q1=0, Q2=0, Q3=0, Q4=0, Q5=0, Q6=0, Q7=0, Q8=0, Q9=0, Q10=0;

```

Leitura do 1° sensor de Umidade Relativa HIH4000
Leitura do pino 12 do MUX CI74HC4051

```

portb.f0 = 1;
portb.f1 = 1;
portb.f2 = 0;
delay_ms(10);
Res = adc_read(0);
Vref = Res * 0.004887586;
UR_1 = (float)((Vref-0.958)/0.0267);

```

Leitura do 2° sensor de Umidade Relativa HIH4000
Leitura do pino 1 do MUX CI74HC4051

```

portb.f0 = 0;
portb.f1 = 0;
portb.f2 = 1;
delay_ms(10);

```

```

Res = adc_read(0);
Vref = Res * 0.004887586;
UR_2 = (float)((Vref-0.958)/0.0267);

```

Leitura do 3° sensor de Umidade Relativa HIH4000
Leitura do pino 5 do MUX CI74HC4051

```

portb.f0 = 1;
portb.f1 = 0;
portb.f2 = 1;

```

```

delay_ms(10);
Res = adc_read(0);
Vref = Res * 0.004887586;
UR_3 = (float)((Vref-0.958)/0.0267);
UR_sensor2 = (int)((UR_1 + UR_2 + UR_3)/3);

```

CONSTRUÇÕES DAS REGRAS FUZZY PARA UR (%)

```

T1 = (UR_sensor2 - 20) / 10;
if (T1 >= 0 ee T1 <= 1) Q1 = T1;
if (T1 >= 0 ee T1 <= 1) R1 = T1 * 40;

T2 = (40 - UR_sensor2)/10;
if (T2 >= 0 ee T2 <= 1) Q2 = T2;
if (T2 >= 0 ee T2 <= 1) R2 = T2*40;

T3 = (UR_sensor2 - 30) / 10;
if (T3 >= 0 ee T3 <= 1) Q3 = T3;
if (T3 >= 0 ee T3 <= 1) R3 = T3 * 50;

T4 = (50 - UR_sensor2) / 10;
if (T4 >= 0 ee T4 <= 1) Q4 = T4;
if (T4 >= 0 ee T4 <= 1) R4 = T4 * 50;

T5 = (UR_sensor2 - 40) / 10;
if (T5 >= 0 ee T5 <= 1) Q5 = T5;
if (T5 >= 0 ee T5 <= 1) R5 = T5 * 60;

T6 = (60 - UR_sensor2) / 10;
if (T6 >= 0 ee T6 <= 1) Q6 = T6;
if (T6 >= 0 ee T6 <= 1) R6 = T6 * 60;

T7 = (UR_sensor2 - 50) / 10;
if (T7 >= 0 ee T7 <= 1) Q7 = T7;
if (T7 >= 0 ee T7 <= 1) R7 = T7 * 70;

T8 = (70 - UR_sensor2) / 10;
if (T8 >= 0 ee T8 <= 1) Q8 = T8;
if (T8 >= 0 ee T8 <= 1) R8 = T8 * 70;

T9 = (UR_sensor2 - 60) / 10;
if (T9 >= 0 ee T9 <= 1) Q9 = T9;

```

```

if (T9 >= 0 ee T9 <= 1) R9 = T9 * 80;
T10 = (80 - UR_sensor2) / 10;
if (T10 >= 0 ee T10 <= 1) Q10 = T10;
if (T10 >= 0 ee T10 <= 1) R10 = T10 * 80;

UR_sensor3 = (R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R10);
UR_sensor = (UR_sensor3/(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8+Q9+Q10));

IntToStr(UR_sensor,texto3);
Lcd_out(3,4,texto3);
delay_ms(1);
}

```

LEITURA DOS DOIS SENSORES DE Tgn

```

void read_Tgn()
{
  unsigned float Leitura3 = 0,Tgna = 0, UR = 0, Tbs = 0;
  unsigned float Pvs = 0, Pv = 0,Tgn1 = 0, Tgn2 = 0, Tpo = 0, Tgn_1 = 0,
  Tgn_2 = 0;
  char texto4[16];
  float T1=0,T2=0,T3=0,T4=0,T5=0,T6=0,T7=0,T8=0,T9=0,T10=0;
  float R1=0, R2=0, R3=0, R4=0, R5=0, R6=0, R7=0, R8=0, R9=0, R10=0;
  float Q1=0, Q2=0, Q3=0, Q4=0, Q5=0, Q6=0, Q7=0, Q8=0, Q9=0, Q10=0;

```

Leitura do 1º sensor de TEMPERATURA LM35 no interior do globo negro
 Leitura do pino 2 do MUX CI74HC4051

```

portb.f0 = 0;
portb.f1 = 1;
portb.f2 = 1;
delay_ms(10);
Leitura3 = adc_read(0);
Tgna = ((float)(Leitura3*(500.00/1023.00)));
Tgn_1 = Tgna;

```

Leitura do 2º sensor de TEMPERATURA LM35 no interior do globo negro
 Leitura do pino 4 do MUX CI74HC4051

```

portb.f0 = 1;

```

```

portb.f1 = 1;
portb.f2 = 1;
delay_ms(10);
Leitura3 = adc_read(0);
Tgna = ((float)(Leitura3*(500.00/1023.00)));
Tgn_2 = Tgna;
Tgn1 = (int)((Tgn_1 + Tgn_2)/2);
Read_Umid();
Read_Temp();
UR = UR_sensor;
Tbs = Temp_sensor;
Pvs = 6.1078*(pow(10.,((7.5*Tbs)/(237.3+Tbs))));
Pv = ((0.01*UR * Pvs * 760.0) / 1013.25)/7.5;
Tpo = (6.983 + (14.38 *log(Pv)) + (1.0790 * (pow(log(Pv),2)))) + 273.15;

```

CONSTRUÇÕES DAS REGRAS FUZZY PARA Tgn (°C)

```

T1 = (Tgn1 - (Temp_ref - 4.5) / 1.5);
if (T1 >=0 ee T1 <=1) Q1 = T1;
if (T1 >=0 ee T1 <=1) R1 = T1 * (Temp_ref - 1.5);

T2 = (((Temp_ref - 1.5) - Tgn1)/1.5);
if (T2 >=0 ee T2 <=1) Q2 = T2;
if (T2 >=0 ee T2 <=1) R2 = T2*(Temp_ref - 1.5);

T3 = (Tgn1 - (Temp_ref - 3.5) / 1.5);
if (T3 >= 0 ee T3 <= 1) Q3 = T3;
if (T3 >= 0 ee T3 <= 1) R3 = T3 * (Temp_ref - 0.5);

T4 = (((Temp_ref - 0.5) - Tgn1) / 1.5);
if (T4 >= 0 ee T4 <= 1) Q4 = T4;
if (T4 >= 0 ee T4 <= 1) R4 = T4 * (Temp_ref - 0.5);

T5 = (Tgn1 - (Temp_ref - 1.5) / 1.5);
if (T5 >= 0 ee T5 <= 1) Q5 = T5;
if (T5 >= 0 ee T5 <= 1) R5 = T5 * (Temp_ref + 1.5);

T6 = (((Temp_ref + 1.5) - Tgn1) / 1.5);
if (T6 >= 0 ee T6 <= 1) Q6 = T6;
if (T6 >= 0 ee T6 <= 1) R6 = T6 * (Temp_ref + 1.5);

T7 = (Tgn1 - (Temp_ref - 0.5) / 1.5);

```

```

if (T7 >= 0 ee T7 <= 1) Q7 = T7;
if (T7 >= 0 ee T7 <= 1) R7 = T7 * (Temp_ref + 2.5);

T8 = (((Temp_ref + 2.5) - Tgn1) / 1.5);
if (T8 >= 0 ee T8 <= 1) Q8 = T8;
if (T8 >= 0 ee T8 <= 1) R8 = T8 * (Temp_ref + 2.5);

T9 = (Tgn1 - (Temp_ref + 1.5) / 1.5);
if (T9 >= 0 ee T9 <= 1) Q9 = T9;
if (T9 >= 0 ee T9 <= 1) R9 = T9 * (Temp_ref + 4.5);

T10 = (((Temp_ref + 4.5) - Tgn1) / 1.5);
if (T10 >= 0 ee T10 <= 1) Q10 = T10;
if (T10 >= 0 ee T10 <= 1) R10 = T10 * (Temp_ref + 4.5);

Tgn2 = (R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R10);
Tgn = (Tgn2 / (Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8+Q9+Q10));
ITGU = (int)((Tgn + 273.15) + ((0.36 * Tpo) - 330.08));
IntToStr(ITGU,texto4);
Lcd_out(4,4,texto4);
delay_ms(5);
}

```

LEITURA DAS MEDIDAS GRAVADAS EM RAM DO SENSOR TEMP

```

void reading_Temp(void)
{
char Temp_1[16], var_temp[16];
unsigned int count1 = 0, ii = 0;

for (ii == 0; ii <= 220; ii++)
{
IntToStr(count1, var_temp);
Lcd_out(1,10, var_temp);
IntToStr(vetor[ii], Temp_1);
Lcd_out(2,10, Temp_1);
count1++;
delay_ms(1500);
if (ii == 72) break;
}
}

```

LEITURA DAS MEDIDAS GRAVADAS EM RAM DO SENSOR UR

```

void reading_UR(void)
{
    char UR_read[16], var_ur[16];
    unsigned int count2 = 0, iii = 73;

    for (iii == 73; iii <= 220; iii++)
    {
        IntToStr(count2, var_ur);
        Lcd_out(1,10, var_ur);
        IntToStr(vetor[iii], UR_read);
        Lcd_out(3,6, UR_read);
        count2++;
        delay_ms(1500);
        if (iii == 145) break;
    }
}

```

LEITURA DAS MEDIDAS GRAVADAS EM RAM DO SENSOR Tgn

```

void reading_Tgn(void)
{
    char Tgn_read[16], var_tgn[16];
    unsigned int count3 = 0, iv = 146;

    for (iv == 146; iv <= 220; iv++)
    {
        IntToStr(count3, var_tgn);
        Lcd_out(1,10, var_tgn);
        IntToStr(vetor[iv], Tgn_read);
        Lcd_out(4,6, Tgn_read);
        count3++;
        delay_ms(1500);
        if (iv == 218) break;
    }
}

```

```

void reading_ram()
{

```

```

if (portb.f4 = 0)
{
  Lcd_Init();
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
  Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
  Lcd_Out(1,2,"No: ");
  Lcd_Out(2,2,"TEMP: ");
  Lcd_Out(2,16,"C");
  Lcd_Out(3,-2,"UR: ");
  Lcd_Out(3,12,"%");
  Lcd_Out(4,-2,"Tgn: ");
  Lcd_Out(4,12,"C");
  delay_ms(5);
  reading_Temp();
  reading_UR();
  reading_Tgn();
}
}

void contador_Temp_baixa()
{
  unsigned int ki = 0;
  for(ki == 0; ki < 236; ki++)
  {
    read_Temp();
    read_Umid();
    read_Tgn();
    save_data();
    if((Temp_sensor >= Temp_ref) ee (Temp_sensor <= Temp_refa)) break;
    if(UR_sensor > UR_max) portb.f6 = 0;
    if(UR_sensor < UR_min) portb.f6 = 0;
    if((UR_sensor >= UR_min) ee (UR_sensor <= UR_max)) portb.f6 = 1;
    delay_ms(1);
    ntemp++;
  }
}

void contador_Temp_alta()
{
  unsigned int ki = 0;
  for(ki == 0; ki < 236; ki++)
  {

```



```

    read_Temp();
    read_Umid();
    read_Tgn();
    save_data();
    if((Temp_sensor >= Temp_ref) ee (Temp_sensor <= Temp_refa)) break;
    if(UR_sensor > UR_max) portb.f6 = 0;
    if(UR_sensor < UR_min) portb.f6 = 0;
    if((UR_sensor >= UR_min) ee (UR_sensor <= UR_max)) portb.f6 = 1;
    delay_ms(1);
    ntemp++;
}
}

void contador_Umid()
{
    unsigned int ki = 0;
    for(ki == 0; ki < 236; ki++)
    {
        read_Temp();
        read_Umid();
        read_Tgn();
        save_data();
        if((UR_sensor >= UR_min) ee (UR_sensor <= UR_max)) break;
        if(Temp_sensor > Temp_refa) portb.f5 = 0;
        if((Temp_sensor >= Temp_ref) ee (Temp_sensor <= Temp_refa)) portb.f5 =
1;
        if(Temp_sensor < Temp_ref) portb.f5 = 0;
        delay_ms(1);
        ntemp++;
    }
}

void delay_alarme_Umid()
{
    unsigned int ki = 0;
    for(ki == 0; ki < 1180; ki++)
    {
        read_Temp();
        read_Umid();
        read_Tgn();
        save_data();
        if((UR_sensor >= UR_min) ee (UR_sensor <= UR_max)) break;

```

```

    delay_ms(1);
    ntemp++;
  }
}

void delay_alarme_Temp()
{
  unsigned int ki = 0;
  portc.f5 = 1;
  for(ki == 0; ki < 1180; ki++)
  {
    read_Temp();
    read_Tgn();
    read_Umid();
    save_data();
    if((Temp_sensor >= Temp_ref) ee (Temp_sensor <= Temp_refa)) break;
    delay_ms(1);
    ntemp++;
  }
}

```

```

//***** PROGRAMA PRINCIPAL *****/

```

```

void main (void)
{
  porta = 0xFF;
  trisa = 0xFF;
  portd = 0x0F;
  trisd = 0x0F;
  porte = 0x0;
  trise = 0x0;
  portc = 0xC0;
  trisc = 0xC0;
  portb = 0x08;
  trisb = 0x08;

  ADCON0 = 0x0B;
  ADCON1 = 0x0C;
  ADCON2 = 0xAF;

```

AJUSTE DA TEMPERATURA AMBIENTE

```

Lcd_Init();
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
Lcd_Out(1,2," AJUSTE DA");
Lcd_Out(2,3," TEMPERATURA");
delay_ms(1);

```

```

do
{
  read_ajust_Temp();
  if (portb.f4 = 0) break;
  delay_ms(100);
  ktemp++;
}
while(ktemp <= 150);

```

```

Lcd_Init();
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
Lcd_Out(1,1," CLIMATIZACAO");
Lcd_Out(2,2,"TEMP:");
Lcd_Out(2,14,"C");
Lcd_Out(3,-2,"UR:");
Lcd_Out(3,10,"%");
Lcd_Out(4,-2,"ITGU: ");

```

LOOP DO PROGRAMA PRINCIPAL

```

do
{
  ntemp++;
  read_Temp();
  save_data();

  if((Temp_sensor >= Temp_ref) ee (Temp_sensor <= Temp_refa))
  {
    portc.f5 = 0;
  }
}

```

```

portb.f5 = 1;
}
read_Umid());

if((UR_sensor >= UR_min) ee (UR_sensor <= UR_max))
{
portb.f6 = 1;
}
read_Tgn());
if((ITGU >= ITGU_min) ee (ITGU <= ITGU_max))
{
portb.f7 = 1;
} else
portb.f7 = 0;

reading_ram());

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA TEMP BAIXA E UR NORMAL

```

switch ((Temp_sensor < Temp_ref) ee (UR_sensor >= UR_min) ee
(UR_sensor <= UR_max))
{
case 1:
{
if (Temp_sensor < Temp_ref)
{
portc.f0 = 1;
portb.f5 = 0;
contador_Temp_baixa());

if(Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f0 = 0, portb.f5 = 1;
if(Temp_sensor >= Temp_ref) break;

portc.f1 = 1;
portc.f0 = 0;
contador_Temp_baixa());

if(Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f1 = 0, portb.f5 = 1;
if(Temp_sensor >= Temp_ref) break;

```

```

    portc.f1 = 0;
    delay_alarme_Temp();
  }
}
case 2:
{
  if (UR_min <= UR_sensor <= UR_max)
  {
    portc.f5 = 0;
  }
}
}
}

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA TEMP ALTA E UR NORMAL

```

switch ((Temp_sensor > Temp_refa) ee (UR_sensor >= UR_min) ee
(UR_sensor <= UR_max))
{
  case 1:
  {
    if (Temp_sensor > Temp_refa)
    {
      portc.f2 = 1;
      portb.f5 = 0;
      contador_Temp_alta();

      if(Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f2 = 0;
      if(Temp_sensor <= Temp_refa) break;

      portc.f4 = 1;
      contador_Temp_alta();

      if(Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f4 = 0, portc.f2 = 0;
      if(Temp_sensor <= Temp_refa) break;

      portc.f3 = 1;
      contador_Temp_alta();

      if(Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0, portc.f3 = 0;
      if(Temp_sensor <= Temp_refa) break;
    }
  }
}

```

```

    portc.f2 = 0;
    portc.f4 = 0;
    portc.f3 = 0;
    delay_alarme_Temp();
  }
}
case 2:
{
  if (UR_min <= UR_sensor <= UR_max)
  {
    portc.f5 = 0;
  }
}
}

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA UR BAIXA E TEMP NORMAL

```

switch ((UR_sensor < UR_min) ee (Temp_sensor >= Temp_ref) ee
(Temp_sensor <= Temp_refa))
{
  case 1:
  {
    if (UR_sensor < UR_min)
    {
      portb.f6 = 0;
      portc.f3 = 1;
      portc.f2 = 1;
      contador_Umid();

      if(Temp_sensor < Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
      if(Temp_sensor > Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
      if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

      if (UR_sensor >= UR_min) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
      if (UR_sensor >= UR_min) break;

      portc.f3 = 0;
      portc.f2 = 0;
      contador_Umid();
    }
  }
}

```

```

if(Temp_sensor < Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
if(Temp_sensor > Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

if (UR_sensor >= UR_min) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
if (UR_sensor >= UR_min) break;

portc.f3 = 1;
portc.f2 = 1;
portc.f4 = 1;
contador_Umid();

if(Temp_sensor < Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if(Temp_sensor > Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

if (UR_sensor >= UR_min) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if (UR_sensor >= UR_min) break;

portc.f3 = 0;
portc.f2 = 0;
portc.f4 = 0;
contador_Umid();
}
}
case 2:
{
if (Temp_ref <= Temp_sensor <= Temp_refa)
{
portc.f5 = 0;
}
}
}
}

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA UR ALTA E TEMP NORMAL

```

switch ((UR_sensor > UR_max) ee (Temp_sensor >= Temp_ref) ee
(Temp_sensor <= Temp_refa))
{
case 1:

```

```

{
if (UR_sensor > UR_max)
{
portb.f6 = 0;
portc.f2 = 1;
contador_Umid();

if(Temp_sensor < Temp_ref) portc.f2 = 0;
if(Temp_sensor > Temp_refa) portc.f2 = 0;
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

if (UR_sensor <= UR_max) portc.f2 = 0;
if (UR_sensor <= UR_max) break;

portc.f4 = 1;
contador_Umid();

if(Temp_sensor < Temp_ref) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if(Temp_sensor > Temp_refa) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

if (UR_sensor <= UR_max) portc.f4 = 0, portc.f2 = 0;
if (UR_sensor <= UR_max) break;

portc.f2 = 0;
portc.f4 = 0;
contador_Umid();
if (UR_sensor <= UR_max) break;
}
}
case 2:
{
if (Temp_ref <= Temp_sensor <= Temp_refa)
{
portc.f5 = 0;
}
}
}

```


BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA TEMPERATURA
BAIXA E UMIDADE ALTA

```

switch ((Temp_sensor < Temp_ref) ee (UR_sensor > UR_max))
{
case 1:
{
if (Temp_sensor < Temp_ref)
{
portc.f0 = 1;
portb.f5 = 0;
contador_Temp_baixa();

if (Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f0 = 0;
if (Temp_sensor >= Temp_ref) break;

portc.f1 = 1;
portc.f0 = 0;
contador_Temp_baixa();

if (Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f1 = 0;
if (Temp_sensor >= Temp_ref) break;

portc.f5 = 1;
portc.f0 = 0;
portc.f1 = 0;
delay_alarme_Temp();
}
}
case 2:
{
if (UR_sensor > UR_max)
{
portc.f5 = 0;
portb.f6 = 0;
portc.f2 = 1;
contador_Umid();

if(Temp_sensor < Temp_ref) portc.f2 = 0;
if(Temp_sensor > Temp_ref) portc.f2 = 0;
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_ref)) break;
}
}
}

```

```

if (UR_sensor <= UR_max) portc.f2 = 0;
if (UR_sensor <= UR_max) break;

portc.f4 = 1;
contador_Umid();

if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if(Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_ref)) break;

if (UR_sensor <= UR_max) portc.f4 = 0, portc.f2 = 0;
if (UR_sensor <= UR_max) break;

portc.f2 = 0;
portc.f4 = 0;
contador_Umid();
}
}
}
}

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA TEMPERATURA BAIXA E UMIDADE BAIXA

```

switch ((Temp_sensor < Temp_ref) ee (UR_sensor < UR_min))
{
case 1:
{
if (Temp_sensor < Temp_ref)
{
portc.f0 = 1;
portb.f5 = 0;
contador_Temp_baixa();

if (Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f0 = 0;
if (Temp_sensor >= Temp_ref) break;

portc.f1 = 1;
portc.f0 = 0;
contador_Temp_baixa();

if (Temp_sensor >= Temp_ref) portc.f1 = 0;
if (Temp_sensor >= Temp_ref) break;

```

```

        portc.f5 = 1;
        portc.f0 = 0;
        portc.f1 = 0;
        delay_alarme_Temp();
    }
}
case 2:
{
    if (UR_sensor < UR_min)
    {
        portc.f5 = 0;
        portb.f6 = 0;
        portc.f3 = 1;
        portc.f2 = 1;
        contador_Umid();

        if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
        if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
        if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

        if (UR_sensor >= UR_min) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
        if (UR_sensor >= UR_min) break;

        portc.f3 = 0;
        portc.f2 = 0;
        contador_Umid();

        if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
        if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
        if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

        if (UR_sensor >= UR_min) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
        if (UR_sensor >= UR_min) break;

        portc.f3 = 1;
        portc.f2 = 1;
        portc.f4 = 1;
        contador_Umid();

        if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
        if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
        if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa)) break;

```

```

if (UR_sensor >= UR_min) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
if (UR_sensor >= UR_min) break;

portc.f3 = 0;
portc.f2 = 0;
portc.f4 = 0;
}
}
}

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA TEMPERATURA ALTA E UMIDADE BAIXA

```

switch ((Temp_sensor > Temp_refa) ee (UR_sensor < UR_min))
{
case 1:
{
if (Temp_sensor > Temp_refa)
{
portc.f2 = 1;
portb.f5 = 0;
contador_Temp_alta();

if (Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f2 = 0;
if (Temp_sensor <= Temp_refa) break;

portc.f4 = 1;
contador_Temp_alta();

if (Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f4 = 0, portc.f2 = 0;
if (Temp_sensor <= Temp_refa) break;

portc.f3 = 1;
contador_Temp_alta();

if (Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0, portc.f3
= 0;

if (Temp_sensor <= Temp_refa) break;

portc.f5 = 1;
portc.f2 = 0;

```

```

    portc.f4 = 0;
    portc.f3 = 0;
    delay_alarme_Temp();
  }
}
case 2:
{
  if(UR_sensor < UR_min)
  {
    portc.f5 = 0;
    portb.f6 = 0;
    portc.f3 = 1;
    portc.f2 = 1;
    contador_Umid();

    if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
    if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
    if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa))
break;

    if(UR_sensor >= UR_min) portc.f2 = 0, portc.f3 = 0;
    if(UR_sensor >= UR_min) break;

    portc.f3 = 0;
    portc.f2 = 0;
    contador_Umid();

    if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
    if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0;
    if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa))
break;

    if(UR_sensor >= UR_min) portc.f2 = 0, portc.f3 = 0;
    if(UR_sensor >= UR_min) break;

    portc.f3 = 1;
    portc.f2 = 1;
    portc.f4 = 1;
    contador_Umid();

    if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4 =
0;

```

```

= 0;
break;
if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f3 = 0, portc.f2 = 0, portc.f4
if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa))

if(UR_sensor >= UR_min) portc.f2 = 0, portc.f3 = 0, portc.f4 = 0;
if(UR_sensor >= UR_min) break;

portc.f3 = 0;
portc.f2 = 0;
portc.f4 = 0;
}
}
}

```

BASE DE REGRAS DO CONTROLADOR FUZZY PARA TEMPERATURA ALTA E UMIDADE ALTA

```

switch ((Temp_sensor > Temp_refa) ee (UR_sensor > UR_max))
{
case 1:
{
if (Temp_sensor > Temp_refa)
{
portc.f2 = 1;
portb.f5 = 0;
contador_Temp_alta();

if (Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f2 = 0;
if (Temp_sensor <= Temp_refa) break;

portc.f4 = 1;
contador_Temp_alta();

if (Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f4 = 0;
if (Temp_sensor <= Temp_refa) break;

portc.f3 = 1;
contador_Temp_alta();

if (Temp_sensor <= Temp_refa) portc.f3 = 0;
if (Temp_sensor <= Temp_refa) break;

```

```

    portc.f5 = 1;
    portc.f2 = 0;
    portc.f4 = 0;
    portc.f3 = 0;
    delay_alarme_Temp();
  }
}
case 2:
{
  if(UR_sensor > UR_max)
  {
    portc.f5 = 0;
    portb.f6 = 0;
    portc.f2 = 1;
    contador_Umid();

    if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f2 = 0;
    if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f2 = 0;
    if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa))
break;

    if(UR_sensor <= UR_max) portc.f2 = 0;
    if(UR_sensor <= UR_max) break;

    portc.f4 = 1;
    contador_Umid();

    if(Temp_sensor <= Temp_ref) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
    if(Temp_sensor >= Temp_refa) portc.f2 = 0, portc.f4 = 0;
    if((Temp_sensor < Temp_ref) || (Temp_sensor > Temp_refa))
break;

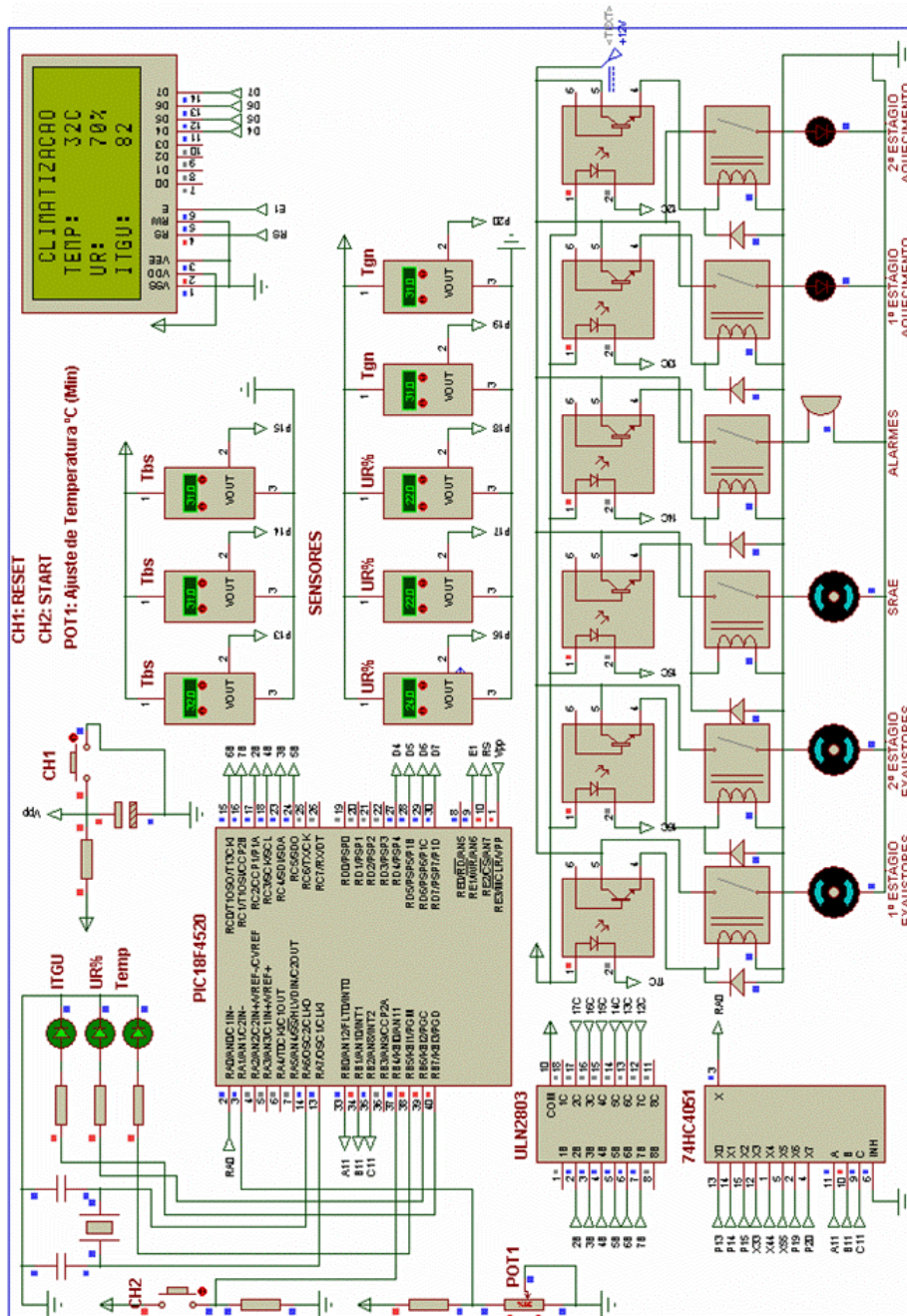
    if(UR_sensor <= UR_max) portc.f4 = 0;
    if(UR_sensor <= UR_max) break;

    portc.f3 = 0;
    portc.f2 = 0;
    portc.f4 = 0;
    contador_Umid();
  }
}
}

```

```
}  
  while(1);  
}
```


Anexo 2 – Circuito elétrico completo do controlador fuzzy



Anexo 3 – Montagem do controlador *fuzzy* em caixa plástica