



GLEICE CRISTINA DE ANDRADE E SILVA

**PROPOSTA DE LABORATÓRIO PARA
ESTUDOS DE AMBIÊNCIA**

**LAVRAS - MG
2012**

GLEICE CRISTINA DE ANDRADE E SILVA

PROPOSTA DE LABORATÓRIO PARA ESTUDOS DE AMBIÊNCIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções e Ambiente, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Renato Ribeiro de Lima

**LAVRAS - MG
2012**

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

Silva, Gleice Cristina de Andrade e.
Proposta de laboratório para estudos de ambiência / Gleice
Cristina de Andrade e Silva. – Lavras : UFLA, 2012.
52 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.
Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.
Bibliografia.

1. Ambiente controlado. 2. Instrumentação. 3. Túnel de vento. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.0831

GLEICE CRISTINA DE ANDRADE E SILVA

PROPOSTA DE LABORATÓRIO PARA ESTUDOS DE AMBIÊNCIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções e Ambiente, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de dezembro de 2011.

Dr. Francisco Carlos Gomes UFLA

Dr. Alessandro Torres Campos UFLA

Dr. Antônio Carlos Neri UFLA

Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento UFCG

Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

**LAVRAS - MG
2011**

A Deus.

A Nossa Senhora.

Aos meus pais, Paulo Sérgio e Nilza, por todo amor, carinho e dedicação e pelo exemplo de fé.

Ao meu grande amor, Rodrigo, por estar presente em todos os momentos e sempre me incentivar e apoiar.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

Ao professor Dr. Tadayuki Yanagi Junior, pela amizade, orientação, confiança, motivação e competência dos ensinamentos, sendo responsável pelo meu crescimento pessoal e científico.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia da UFLA, pela confiança depositada e principalmente pelos ensinamentos transmitidos.

Aos proprietários e funcionários da Granja Avivar, pelo apoio e atenção, fornecendo os animais indispensáveis ao desenvolvimento deste experimento.

Aos professores Dr. Alessandro Torres Campos e Dr. Renato Ribeiro de Lima, pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos amigos e colegas que estiveram sempre ao meu lado e contribuíram para que fosse possível a conclusão de meu curso.

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro ao projeto.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Pesquisas com animais em ambientes controlados possibilitam a determinação de faixas de conforto para a criação, além do desenvolvimento de índices específicos para cada espécie. Portanto, objetivou-se com o presente trabalho a instrumentação e validação de um laboratório equipado com sistema de controle da temperatura do ar (t_{ar}), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V) para estudos de ambiência para pequenos animais. Uma sala experimental foi equipada com dois sistemas de ar condicionado, para a manutenção de t_{ar} básica para trabalho. Na sala foram instalados quatro túneis de vento com recirculação parcial de ar. Cada túnel possui dois aquecedores e dois umidificadores elétricos distribuídos em dois estágios de funcionamento. A velocidade do ar é controlada manualmente por meio de potenciômetros ligados a exaustores. Um sistema de aquisição e controle das variáveis climáticas foi instalado no laboratório, composto por um *datalogger* (CR1000, Campbell Scientific), um multiplexador de canais (AM16/32B, Campbell Scientific), um controlador de relês (SDM-CD16AC, Campbell Scientific), sensores de t_{ar} e UR (HMP45C, Vaisala), sensores para medição da temperatura da água (108, Vaisala) e anemômetro para medição da velocidade do ar. Resultados mostraram que o sistema apresentou desvios de $\pm 0,19^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,75\%$ e $\pm 0,05\text{ms}^{-1}$ para t_{ar} , UR e V, respectivamente, quando se compara os valores medidos no interior dos túneis àqueles pré-estabelecidos (*setpoints*). Conclui-se, então, que o sistema é apropriado para estudos com pequenos animais.

Palavras-chave: Ambiente controlado. Instrumentação. Túnel de vento.

ABSTRACT

Researches with animals in controlled environmental make possible the determination of comfort strips for the creation, besides the development of specific indexes for each species. Therefore, the goal of the present work was the instrumentation and validation of an equipped laboratory with a control system for air temperature (t_{air}), relative humidity (RH) and air velocity (V) to study the environment for small animals. An experimental room was equipped with two air conditioners, for the maintenance of basic t_{air} for work. In the room, four wind tunnels were installed with partial air recirculation. Each tunnel has two electric heaters and two humidifiers divided into two stages of operation. The air velocity is controlled manually by potentiometers connected to exhaust. An acquisition system and control of the climatic variables was installed in the laboratory, consisting by a datalogger (CR1000, Campbell Scientific), a multiplexer channel (AM16/32B, Campbell Scientific), a relay controller (SDM-CD16AC, Campbell Scientific), t_{air} and RH sensors (HMP45C, Vaisala) sensors for measuring water temperature (108, Vaisala) and anemometer for measuring air velocity. The results showed that the system presented deviations of $\pm 0.19^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.75\%$ and $\pm 0.05\text{ms}^{-1}$ for t_{air} , RH and V, respectively, when comparing the values measured inside the tunnels to those previously established (setpoints). It is concluded, then that the system is appropriate for studies of small animals.

Keywords: Thermal environment. Instrumentation. Wind tunnel.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1

- Figura 1 Esquema ilustrativo dos túneis de vento instalados no interior de uma sala equipada com sistema de resfriamento. **Illustrative scheme of the wind tunnels installed inside a room equipped with system cooling.**..... 38
- Figura 2 Vistas superior (a) e lateral (b) do túnel de vento. **Top (a) and lateral (b) views of the wind tunnel.**..... 39
- Figura 3 Esquema simplificado representando o circuito elétrico para controle da t_{ar} e UR no interior dos túneis de vento. **Simplified scheme representing the electric circuit for control of the t_{air} and RH inside the wind tunnels.**..... 41
- Figura 4 Fluxograma ilustrando a lógica de controle de t_{ar} para os estágios 1 (a) e 2 (b). A mesma lógica é aplicada para controle de UR. **Flowchart illustrating the logic of t_{air} control for the stages 1 (a) and 2 (b). The same logic is applied for control of RH.**..... 42
- Figura 5 Representação dos pontos de medição da velocidade do ar nas sessões transversal (a) e longitudinal (b) da gaiola. **Representation of the points of measurement of the speed of the air in the traverse sessions (a) and longitudinal (b) of the cage.**..... 43

Figura 6	<i>Boxplots</i> das temperaturas de 24, 27, 30 e 33°C e umidade relativa de 60% para cada túnel de vento (T1, T2, T3 e T4). Boxplots of the temperatures of 24, 27, 30 and 33°C and relative humidity of 60% for each wind tunnel (T1, T2, T3 and T4).	46
Figura 7	Comportamento da temperatura do ar no interior do túnel de vento, no interior da sala e no ambiente externo para os <i>setpoints</i> de 24°C (a), 27°C (b), 30°C (c) e 33°C (d). Behavior of the air temperature inside the wind tunnel, inside the room and in the external environment for the set points of 24°C (a), 27°C (b), 30°C (c) and 33°C (d).	48
Figura 8	Imagens (a e b) de vídeo e (c e d) termográficas capturadas no interior dos túneis de vento, para as temperaturas (a e c) de 24°C e (b e d) 30°C, e, umidade relativa de 60%. Video (a and b) and thermographic(c and d) images captured inside the wind tunnels, for the temperatures of 24°C (a and c)and 30°C(b and d), and, relative humidity of 60%.	49
Tabela 1	Condições ambientais observadas nos túneis de vento durante o período de calibração. Environmental conditions observed in the wind tunnels during the calibration period.	45
Tabela 2	Valores observados para a velocidade do ar na sessão transversal da gaiola localizada no interior dos túneis de vento. Values observed for the air velocity in the cross session of the cage located inside the wind tunnels.	47

LISTA DE SIGLAS

BTU	British thermalunit
CTR	Carga térmica de radiação
ITGU	Índice de temperatura de globo negro e umidade
ITU	Índice de temperatura e umidade
UR	Umidade relativa em %
V	Velocidade em ms^{-1}

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Entalpia em kJ kg^{-1} de ar seco
t_{ar}	temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$
t_{bs}	temperatura do bulbo seco em $^{\circ}\text{C}$
T_{gn}	temperatura do globo negro em Kelvin
t_{gn}	temperatura do globo negro em $^{\circ}\text{C}$
T_{po}	temperatura do ponto de orvalho em Kelvin

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	14
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	O ambiente térmico e a produção de pequenos animais	17
2.1.1	Ambiente térmico	17
2.1.2	Desempenho animal	20
2.1.3	Comportamento animal	21
2.2	Instrumentação aplicada ao controle do ambiente	22
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	25
	REFERÊNCIAS	26
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO	31
	ARTIGO 1 PROPOSTA DE LABORATÓRIO PARA ESTUDOS DE AMBIÊNCIA	32

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O ambiente de criação tem grande importância na pecuária por influenciar a produtividade dos animais, alterando a troca de calor com o ambiente, o consumo de alimentos, o ganho de peso corporal e a exigência de proteína da ração. Portanto, o controle do ambiente de criação animal é uma das principais necessidades para garantia do bem-estar.

Por ser um país predominantemente tropical, caracterizado por altas temperaturas, prejudiciais à criação de aves, suínos e bovinos, o ambiente térmico brasileiro é determinante sobre o sistema produtivo.

Fatores climatológicos como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar são, certamente, importantes variáveis que agem no crescimento dos animais, influenciando diretamente no consumo e refletindo na conversão alimentar.

O ambiente térmico influencia o desempenho animal primariamente por meio das trocas energéticas entre este e as superfícies circundantes, que são realizadas pelos mecanismos de radiação, condução, convecção e evaporação.

Quando a temperatura ambiente efetiva aumenta, os animais homeotermos utilizam mecanismos comportamentais, físicos e químicos que podem levar, conseqüentemente, a um desvio da energia disponível para a produção, modificando a exigência de nutrientes dos animais.

As limitações climáticas podem ser amenizadas a partir de projeto de instalação adequado em conjunto com alimentação e manejo racional, bem como técnicas de modificações térmicas ambientais.

Uma técnica de modificação ambiental artificial bastante difundida é o resfriamento evaporativo do ar, que consiste em incorporar vapor d'água diretamente no ar, causando mudança no seu ponto de estado (aumento da umidade e redução da temperatura). Essa técnica deve preferencialmente ser

associada a sistemas de ventilação o que, além de facilitar o controle da umidade no interior da instalação, proporciona uma melhor renovação do ar.

No entanto, para que esse sistema proporcione, de fato, benefícios à produção, é necessário que ele opere mantendo os valores das variáveis climáticas dentro de limites ótimos para a criação do animal. Para tanto, é necessário estudos para definição de padrões de conforto térmico, estabelecendo faixas de temperatura e umidade relativa de criação, ideais para cada espécie animal. Neste contexto, a utilização de túneis de vento tem alta aplicabilidade, visto que, permite a avaliação das respostas fisiológicas, desempenho produtivo e comportamental dos animais, a partir de variações climáticas pré-estabelecidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial é abordado o tema ambiência na produção de pequenos animais, em especial o efeito do ambiente nas respostas fisiológicas, no desempenho e no comportamento animal, bem como a importância da instrumentação no controle do ambiente térmico.

2.1 O ambiente térmico e a produção de pequenos animais

O desempenho animal é afetado, dentre outros fatores, pelo ambiente térmico, o que reflete em uma mudança do comportamento animal.

2.1.1 Ambiente térmico

O controle do ambiente de criação é uma das principais necessidades para garantir o bem-estar dos animais, visando maior produtividade e qualidade do produto final (TINÔCO; FIGUEIREDO; SANTOS, 2004). O ambiente de criação é um dos principais causadores de perdas na produção animal em escala industrial (VITORASSO; PEREIRA, 2009).

As aves são afetadas diretamente pelos fatores térmicos, pois comprometem sua função vital mais significativa, que é a manutenção de sua homeotermia (MENEGALI et al., 2009).

O ambiente interno onde os animais estão inseridos é determinado por fatores físicos, químicos e biológicos, que incluem os componentes aéreos, a luz e os componentes construtivos (TINÔCO, 2001).

Para caracterizar as condições térmicas do ambiente, alguns índices têm sido aprimorados e utilizados com objetivo de prever, por meio de um único valor, as condições térmicas de um determinado ambiente. Um dos índices de conforto térmico mais utilizado é o índice de temperatura de globo negro e

umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1981), a partir do índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1958). Esse índice considera, em um único valor, os efeitos da temperatura do ar, da umidade relativa, da radiação incidente e da velocidade do vento, e tem sido usado para avaliar as condições de conforto animal por meio da seguinte equação:

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

em que:

T_{gn} = temperatura de globo negro, em Kelvin (K); e

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho, em Kelvin (K).

Segundo Esmay (1974), outro parâmetro importante para a avaliação da condição ambiental é a carga térmica de radiação (CTR), que pode ser determinada pela equação 2, sendo que, s é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), V é a velocidade do ar em m s^{-1} e T_{bs} é a temperatura de bulbo seco do ar em K.

$$CTR = \sigma \cdot 100^4 \cdot \left[2,51 \cdot \sqrt{V} \cdot (T_{gn} - t_{bs}) + \left(\frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

A entalpia (H) tem sido proposta para avaliação do ambiente interno de galpões de criação de frangos de corte que por definição é uma variável física que indica a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor d' água ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ de ar seco}$). Portanto, nos casos de alteração na umidade relativa (UR), para uma mesma t_{ar} , a energia envolvida nesse processo se altera, e como consequência, as trocas térmicas no ambiente serão alteradas. A entalpia pode ser determinada segundo Albright (1990) pela Equação 3.

$$H = 1,0006.T + \frac{U_E}{P_E} \cdot 10^{\left(\frac{7.5T}{237.3+T}\right)} \cdot (71,28 + 0,0052.T) \quad (3)$$

em que,

H é a entalpia, em kJ kg^{-1} de ar seco.

Diferentes técnicas de manejo do ambiente bioclimático podem contribuir efetivamente para a conquista da competitividade no mercado, quando associadas ao melhoramento genético, ao controle sanitário e à eficiência de produção, o que resulta na melhoria da conversão alimentar e da taxa de crescimento diário, e que refletem positivamente no custo final do produto (OWADA et al., 2007).

O ambiente de criação influencia de diversas formas na produção de animais de pequeno porte. Em galinhas poedeiras, as altas temperaturas, além de provocar redução no desempenho das aves, induzem a uma hiperventilação dos pulmões durante a respiração, com perda excessiva de dióxido de carbono do sangue, fator importante na formação do carbonato de cálcio para a casca dos ovos (JÁCOME et al., 2007). Além disso, o desconforto térmico também provoca uma série de consequências que, por sua vez, estão intimamente ligadas à queda no consumo de ração, menor taxa de crescimento, maior consumo de água, aceleração do ritmo cardíaco, alteração da conversão alimentar, queda na produção de ovos e maior incidência de ovos com casca mole (TRINDADE; NASCIMENTO; FURTADO, 2007).

Na criação de codornas, segundo Vercese (2010), as altas temperaturas induzem uma redução no consumo de ração, no peso e na massa dos ovos, além da qualidade interna e externa dos ovos serem afetadas.

2.1.2 Desempenho animal

O desempenho produtivo dos animais pode ser avaliado em relação às condições ambientais por meio do consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar, frequência respiratória, taxa de mortalidade, temperatura cloacal e temperatura da superfície do animal (CARVALHO et al., 2009; FURTADO et al., 2010; SARMENTO et al., 2005).

Alguns autores apontam que, entre os fatores ambientais, o térmico é o que afeta diretamente as aves, pois compromete sua função vital mais importante que é a manutenção de sua homeotermia (BARBOSA FILHO; VIEIRA; SILVA, 2009; MENEGALI et al., 2009; WELKER; ROSA; MOURA, 2008).

Segundo Zanolla et al. (1999), no Brasil, os elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar, especialmente no verão, incluem-se entre os principais fatores que afetam negativamente o desempenho animal. Porém, o desempenho animal é afetado não somente pelos fatores térmicos do meio, mas também por outras variáveis como cor, luz e ruído (ZANOLLA et al., 1999).

Ao elevar a temperatura corporal, em função de aumento na temperatura ambiental, as aves aumentam a frequência respiratória e reduzem o consumo de ração, na tentativa de manter a temperatura corporal dentro de limites fisiológicos (LANA et al., 2000). A queda no consumo dos alimentos, induzida pelo calor, facilita o controle da homeotermia pelo animal; entretanto, ela normalmente representa, de forma indireta perda econômica para o produtor (TINÔCO, 2001).

De acordo com Moura (2001) quando a temperatura ambiente está acima da zona termoneutra ocorre redução na atividade física, além de diminuição da produção interna de calor das aves e o calor metabólico migra à superfície do corpo, na tentativa de liberar calor ao ambiente, pelos processos de condução, convecção e radiação.

Segundo Silva e Sevegnani (2001) quando a temperatura ambiente encontra-se abaixo da temperatura limite de conforto, o crescimento das aves torna-se lento e a eficiência da conversão alimentar é reduzida.

2.1.3 Comportamento animal

De acordo com Cordeiro (2007), o estudo do comportamento animal assume papel importante na produção, uma vez que, para racionalizar os métodos de criação tem-se desenvolvido técnicas de manejo, alimentação e instalações que interfiram e também dependam do comportamento animal. Segundo este mesmo autor, o animal é fortemente influenciado no seu comportamento pelo ambiente externo, e conhecendo como esse atua sobre o animal por meio do comportamento, é possível identificar e quantificar o bem-estar dos animais

Segundo Castro (2010), a análise do comportamento envolve fatores inerentes ao próprio animal, bem como aqueles referentes ao ambiente ao seu redor. Além disso, os processos fisiológicos e celulares dos animais são influenciados pelo comportamento e organização social (CASTRO, 2010).

As respostas de animais domésticos ao microambiente têm servido de base para as decisões de controle ambiental em sistemas intensivos de produção animal, por meio do entendimento das respostas fisiológicas (QUEIRÓS; NÃÃS, 2005).

Entender o comportamento e suas pequenas variações decorrentes das mudanças do ambiente térmico e desenvolver modelos que simulem o bem-estar a partir de respostas das aves ao ambiente, constituem o primeiro passo para o desenvolvimento de sistema de monitoramento digital de aves em galpões de produção que identifiquem diferentes níveis de bem-estar das mesmas (PEREIRA et al., 2008).

Dentre as tecnologias utilizadas para caracterização das respostas comportamentais das aves, tem-se destacado o uso de imagens digitais, que possibilita rapidez na tomada de decisão.

Segundo Xin e Shao (2002), a avaliação e os controles interativos do conforto térmico dos animais pela análise de imagens superam os problemas inerentes ao método convencional, pois se utilizam dos próprios animais como biossensores em resposta aos reflexos do ambiente por meio de análise comportamental.

2.2 Instrumentação aplicada ao controle do ambiente

Para melhor avaliar o ambiente de produção animal, têm-se buscado o auxílio de métodos inovadores, ferramentas não invasivas de avaliação e controle do bem-estar em ambiente confinado e, o uso de metodologia adequada e confiável para registro dos dados torna-se imprescindível para uma análise com maior exatidão (BORGES et al., 2010).

Dessa forma, não se pode mais admitir que se fale de sistema de produção animal ou de cadeia produtiva, sem se considerar esses novos conceitos. Diante disso, a utilização de novas tecnologias e ferramentas, como a informática (*softwares*), microeletrônica, análise de imagem, sensores e atuadores, podem melhorar o trabalho experimental, favorecendo uma acurácia das pesquisas até então não alcançada pelos métodos tradicionais de observação (PANDORFI et al., 2005).

Os sistemas de automação permitem monitorar e controlar o funcionamento de uma estrutura física de forma segura, rápida e automática. O controle visa monitorar tarefas rotineiras e respostas comuns a certas características do ambiente (em que, ambiente significa tudo o que existe em torno do sistema de controle, inclusive animais). Existem inúmeros exemplos de

sistemas de automação de aquisição de dados, com os mais variados graus de complexidade. Todos eles, entretanto, têm alguns pontos comuns que os caracterizam. A maioria dos sistemas de automação necessita de algum tipo de parâmetro que lhe permita avaliar o estado atual do ambiente. Essa interface, geralmente, consiste de sensores que medem características do local, tais como temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa e outros. Dependendo do tipo de sensor, o sistema apresentará maior ou menor precisão (SILVA et al., 2007).

Um sistema de aquisição e controle é uma ferramenta que possibilita conhecer, monitorar e controlar variáveis de qualquer processo, de acordo com especificações de trabalho pré-definidas (FOIATTO; PINTO; HESSEL, 2009). É formada por equipamentos capazes de processar dados localmente e também de comunicar-se entre si, sem a necessidade de um controlador central, constituindo, portanto, um sistema descentralizado. Esse tipo de sistema em geral é bastante confiável, expansível e configurável (MOREIRAS; CUGNASCA, 2003), características desejáveis para a aplicação em diversas áreas do conhecimento.

No caso de aplicações zootécnicas, um sistema de instrumentação é um conjunto integrado de dispositivos utilizados para medir grandezas físicas e biológicas relacionadas aos animais e ao seu meio ambiente (ARCE, 2008).

Pesquisa realizada por Bishop-Hurley et al. (2007) apresentou a utilização de sistemas de instrumentação para monitorar a posição de animais e desenvolveram dispositivos utilizados para interferir no seu comportamento.

O registro de dados de forma automática possibilita, entre outras vantagens, a eliminação de erros humanos na leitura dos sensores, erros de digitação, algumas formas de perdas de dados, sincronismo da leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos. O computador pode ser usado na coleta, armazenamento, processamento e

transmissão dos dados. Outra vantagem do uso de computadores é que os dados obtidos podem ser trabalhados em diversos aplicativos, tais como planilhas eletrônicas, programas gráficos, estatísticos, editores de texto, dentre outros.

Nunes et al. (2007) em um estudo de caso, submeteram uma câmara climática a diversos valores de temperatura e umidade relativa. Os resultados demonstraram baixos índices de variação em um curto espaço de tempo para retornar aos valores especificados, quando comparados com os parâmetros estabelecidos para o teste.

Câmaras climáticas têm sido utilizadas em pesquisas com diferentes animais, propiciando o controle mais apurado dos erros experimentais em estudos associados à ambiência animal. Em experimentos com frangos de corte, as câmaras climáticas podem ser utilizadas para analisar os efeitos da composição da ração e do ambiente de criação sobre o desempenho e o rendimento dos animais (DAHLKE et al., 2005; LANA et al., 2005; MEDEIROS et al., 2005; OBA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2007; SILVA et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2007; VALÉRIO et al., 2003). Em bovinos, para avaliação do efeito do estresse calórico (FERREIRA et al., 2009). Em suínos, na análise dos efeitos das condições ambientais sobre o desempenho do animal (KIEFER et al., 2009; SANCHES et al., 2010; SILVA et al., 2011). Em matrizes pesadas, na avaliação do comportamento e bem-estar (PEREIRA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008). Em ovinos, no estudo do efeito da temperatura e movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo (MAIA; SILVA; ANDRADE, 2009).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste início de século, com o avanço no sistema produtivo, tanto do ponto de vista genético quanto gerencial, a determinação das condições bioclimáticas adequadas torna-se condição fundamental para que os animais possam expressar seu máximo desempenho produtivo.

Neste contexto, a implementação e validação de um sistema para estudos relacionados à ambiência animal são primordiais para a quantificação do bem-estar dos animais, possibilitando a determinação mais precisa dos intervalos de conforto, bem como o desenvolvimento de novos índices de conforto ou desconforto térmico com base nas respostas fisiológicas, produtivas e comportamentais.

REFERÊNCIAS

- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453 p.
- ARCE, A. I. C. **Redes de sensores sem fio na coleta de dados fisiológicos de bovinos para a aplicações na zootecnia de precisão**. 2008. 86 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 12, p. 2442-2446, 2009.
- BISHOP-HURLEY, G. J. et al. Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 56, p. 14-22, 2007.
- BORGES, G. et al. Uso da geostatística para avaliar a captação automática dos níveis de pressão sonora em instalações de creche para suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 377-385, 2010.
- BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.
- CARVALHO, V. F. et al. 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.
- CASTRO, J. O. **Influência do material de construção sobre o ambiente e comportamento de suínos na maternidade**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2010.
- CORDEIRO, M. B. **Análise de imagens na avaliação do comportamento, do bem-estar e do desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento**. 2007. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

DAHLKE, F. et al. Empenamento de frangos de corte: efeito da restrição alimentar qualitativa e quantitativa e temperatura ambiente. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 341-347, jul./set. 2005.

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

FERREIRA, F. et al. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 4, p. 769-776, ago. 2009.

FOIATTO, N.; PINTO, V. M. V.; HESSEL, R. Calibração de analisadores de desfibriladores cardíacos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA ELÉTRICA, 8., 2009, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: [s. n.], 2009. 1 CD ROM.

FURTADO, D. A. et al. Índices de conforto térmico e concentração de gases em galpões avícolas no semiárido paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 993-1002, nov./dez. 2010.

JÁCOME, I. M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 527-531, 2007.

KIEFER, C. et al. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 221, p. 55-64, mar. 2009.

LANA, G. R. Q. et al. Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição da carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1117-1123, 2000.

LANA, S. R. V. et al. Níveis de lisina digestível em rações para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, mantidos em ambiente de termoneutralidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1624-1632, 2005.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; ANDRADE, P. C. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos em câmara climática. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 104-108, jan. 2009.

MEDEIROS, C. M. et al. 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. et al. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 984-990, 2009. Supl.

MOREIRAS, A. M.; CUGNASCA, C. E. Arquitetura de uma rede de instrumentação inteligente baseada em CAN e TCP/IP e aplicada ao estudo de Meliponíneos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: [s. n.], 2003. p. 170-173.

MOURA, D. J. Ambiência na avicultura de corte. In: SILVA, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 81-93.

NUNES, L. C. C. et al. Câmara climática: estudo de caso. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 88, n. 3, p. 137-140, 2007.

OBA, A. et al. Qualidade da carne de frangos de corte submetidos a dietas suplementadas com crômio, criados em diferentes temperaturas ambientais. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 143-149, 2007.

OLIVEIRA NETO, A. R. O. et al. Níveis de metionina + cistina total para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade mantidos em ambiente termoneutro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1359-1364, set./out. 2007.

OLIVEIRA, W. P. et al. Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 5, p. 1092-1098, maio 2010.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, 2007.

PANDORFI, H. et al. Locais de implante de microchips de identificação eletrônica de leitões: seleção e validação por análise de imagem. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2005.

PEREIRA, D. F. et al. Efeitos da temperatura do ar, linhagem e período do dia nas frequências de ocorrências e tempos de expressão comportamental de matrizes pesadas. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 596-610, set./dez. 2007.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, out./dez. 2008.

QUEIRÓS, M. P. G.; NÄÄS, I. A. Estimativa de padrão de conforto ambiental para creche de suínos usando lógica *fuzzy*. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: SBI-AGRO, 2005. 1 CD ROM.

SANCHES, J. F. et al. Níveis de ractopamina para suínos machos castrados em terminação e mantidos sob conforto térmico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 403-408, fev. 2010.

SARMENTO, L. G. V. et al. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n. 2, p. 117-122, 2005.

SILVA, E. A. et al. Duração da suplementação de ractopamina em dietas para leitoas em terminação mantidas sob alta temperatura ambiente. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 337-342, fev. 2011.

SILVA, I. J.; SEVEGNANI, K. B. Ambiência e instalações na avicultura de postura. In: SILVA, I. J. O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001.

SILVA, K. O. et al. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 630-638, 2007.

SILVA, V. K. et al. Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações contendo extrato de leveduras e prebiótico e criados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 690-696, abr. 2009.

SIQUEIRA, J. C. et al. Níveis de lisina digestível da ração e temperatura ambiente para frangos de corte em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 2054-2062, 2007. Supl.

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

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SANTOS, R. C. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evaporativo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 1, p. 17-23, 2004.

THOM, E. C. Cooling degrees: days air conditioning, heating, and ventilating. **Transactionsofthe ASAE**, St. Joseph, v. 55, p. 65-72, 1958.

TRINDADE, J. L.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Qualidade do ovo de galinhas poedeiras criadas em galpões no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 652-657, 2007.

VALÉRIO, S. R. et al. Níveis de lisina digestível em rações, em que se manteve ou não a relação aminoacídica, para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, mantidos em estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 372-382, 2003.

VERCESE, F. **Efeito da temperatura sobre o desempenho e a qualidade dos ovos de codornas japonesas**. 2010. 70 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2010.

WELKER, J. S.; ROSA, A. P.; MOURA, D. J. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 8, p. 1463-1467, 2008.

XIN, H.; SHAO, J. Real time assessment of swine thermal comfort by computer vision. In: WORLD CONGRESS OF COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: ASAE, 2002. p. 362-369.

ZANOLLA, N. et al. Sistemas de ventilação em túnel e lateral na criação de frangos de corte com alta densidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 361-366, 1999.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

**ARTIGO 1 PROPOSTA DE LABORATÓRIO PARA ESTUDOS DE
AMBIÊNCIA**

RESUMO

Pesquisas com animais em ambientes controlados possibilitam a determinação de faixas de conforto para a criação, além do desenvolvimento de índices específicos para cada espécie. Portanto, objetivou-se com o presente trabalho a instrumentação e validação de um laboratório equipado com sistema de controle da temperatura do ar (t_{ar}), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do ar (V) para estudos de ambiência para pequenos animais. Uma sala experimental de 5,6 x 5,7m foi equipada com dois sistemas de ar condicionado de 18.000 BTUs cada, para a manutenção de t_{ar} e UR básicas para trabalho. Na sala foram instalados quatro túneis de vento (0,8 x 5,0m) com recirculação parcial de ar. Cada túnel possui dois aquecedores elétricos de 600W de potência e dois umidificadores com capacidade média de névoa de 300mlh⁻¹ distribuídos em dois estágios de funcionamento. A velocidade do ar é controlada manualmente por meio de potenciômetros ligados a exaustores de 0,40m de diâmetro e vazão de 4200m³h⁻¹. Um sistema de aquisição e controle das variáveis climáticas foi instalado no laboratório, composto por um *datalogger* (CR1000, *Campbell Scientific*), um multiplexador de canais (AM16/32B, *Campbell Scientific*), um controlador de relês (SDM-CD16AC, *Campbell Scientific*), sensores de t_{ar} e UR (HMP45C, Vaisala), sensores para medição da temperatura da água (108, Vaisala) e anemômetro digital de hélice para medição da velocidade do ar. Resultados mostraram que o sistema apresentou desvios de $\pm 0,19^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,75\%$ e $\pm 0,05\text{ms}^{-1}$ para t_{ar} , UR e V, respectivamente, quando se compara os valores medidos no interior dos túneis àqueles pré-estabelecidos (*setpoints*).

Palavras-chave: Ambiente controlado. Instrumentação. Câmara climática.

PROPOSAL FOR LABORATORY STUDIES ON AMBIENCE

ABSTRACT

Researches with animals in controlled environmental make possible the determination of comfort strips for the creation, besides the development of specific indexes for each species. Therefore, the goal of the present work was the instrumentation and validation of an equipped laboratory with a control system for air temperature (t_{air}), relative humidity (RH) and air velocity (V) to study the environment for small animals. An experimental room with 5.6 x 5.7m was equipped with two air conditioners of 18.000 BTUs each, for the maintenance of t_{air} and RH basic for work. In the room, four wind tunnels (0.8 x 5.0 m) were installed with partial recirculation of air. Each tunnel has two electric heaters of 600W and two humidifiers with average capacity of mist 300mlh⁻¹ divided into two stages of operation. The air speed is controlled manually by potentiometers connected to exhaust fans of 0.40m of diameter and output of 4200m³h⁻¹. An acquisition system and control of the climatic variables was installed in the laboratory, consisting by a datalogger (CR1000, Campbell Scientific), a multiplexer channel (AM16/32B, Campbell Scientific), a relay controller (SDM-CD16AC, Campbell Scientific), t_{air} and RH sensors (HMP45C, Vaisala) sensors for measuring water temperature (108, Vaisala) digital anemometer helix for measuring air velocity. The results showed that the system presented deviations of $\pm 0.19^{\circ}\text{C} \pm 0.75\%$ and $\pm 0.05\text{ms}^{-1}$ for t_{air} , RH and V, respectively, when comparing the values measured inside the tunnels to those previously established (setpoints).

Keywords: Controlled environment. Instrumentation. Climatic chamber.

1 INTRODUÇÃO

Para maximizar a produtividade, é imprescindível aliar um elevado potencial genético do plantel a uma alimentação com nível nutricional adequado, em ambiente asséptico e ajustado às necessidades dos animais. Dessa forma, o ambiente exerce papel fundamental na produção animal moderna, visto que esta tem por objetivo alcançar alta produtividade em espaço físico e tempo relativamente reduzido. A quantificação das respostas dos animais a fatores biofísicos é importante fator em pesquisas que visem o aumento do bem-estar animal e eficiência de produção.

Neste contexto, a utilização de câmaras climáticas possui a vantagem de possibilitar o controle das variáveis ambientais para o desenvolvimento de experimentos com animais. Pesquisas com controle do ambiente para animais empregando esses sistemas têm sido realizadas por vários pesquisadores: por OLIVEIRA NETO et al. (2007) para determinação da exigência de metionina + cistina para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, mantidos em zona de termoneutralidade. OBA et al. (2007) avaliaram a composição e a qualidade da carne do peito de frangos de corte, alimentados com dietas suplementadas com crômio complexado a levedura, criados sob diferentes condições de temperatura ambiente. OLIVEIRA et al. (2010) estudaram os efeitos da redução dos níveis de proteína bruta da ração sobre o desempenho e o rendimento de cortes de frangos de corte machos em fase de crescimento mantidos sob estresse por calor. SILVA et al. (2009) avaliaram o desempenho de frangos aos 21 dias de idade criados em diferentes temperaturas e que receberam, na fase pré-inicial, ração contendo ou não extrato de leveduras e/ou prebiótico. SIQUEIRA et al. (2007) estudaram os efeitos dos níveis de lisina digestível da ração e da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 a 42 dias de idade. FERREIRA et al. (2009) avaliaram os efeitos do

estresse calórico em bovinos. KIEFER et al. (2009) avaliaram o comportamento, as respostas fisiológicas e o desempenho de suínos em crescimento submetidos a diferentes temperaturas. MAIA et al. (2009) estudaram os efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos. SILVA et al. (2011) avaliaram a duração da suplementação de ractopamina na dieta de leitoas em terminação, mantidas sob alta temperatura ambiente. PEREIRA et al. (2007) estudaram os efeitos da temperatura do ar, linhagem e período do dia no comportamento de matrizes pesadas. PEREIRA et al. (2008) estimaram o bem-estar de matrizes pesadas em função de frequências e duração dos comportamentos expressos pelas aves. SANCHES et al. (2010) avaliaram o desempenho e as características quantitativas de carcaça de suínos machos castrados, mantidos em ambiente de conforto térmico e alimentados com dietas contendo diferentes níveis de ractopamina.

Além disso, a determinação das variáveis: temperatura do ar (t_{ar}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (V) e temperatura de globo negro (t_{gn}), além de possibilitar traçar um perfil das condições ambientais, permitem o cálculo de índices de conforto térmico que são utilizados para quantificar e qualificar o desconforto térmico animal, que por sua vez, está relacionado às respostas fisiológicas e desempenho produtivo dos animais, sendo um método de avaliação indireto e prático (DAMASCENO et al., 2010). Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho a instrumentação e validação de um laboratório equipado com sistema de controle da t_{ar} , UR e V em túneis de vento para estudos de ambiência para pequenos animais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de estudos de respostas fisiológicas e comportamentais de pequenos animais (frangos de corte, poedeiras, leitões, codornas, etc.), foi construído e instrumentado um laboratório composto de quatro túneis de vento com recirculação parcial de ar e controle automático de temperatura e umidade relativa do ar e manual de velocidade.

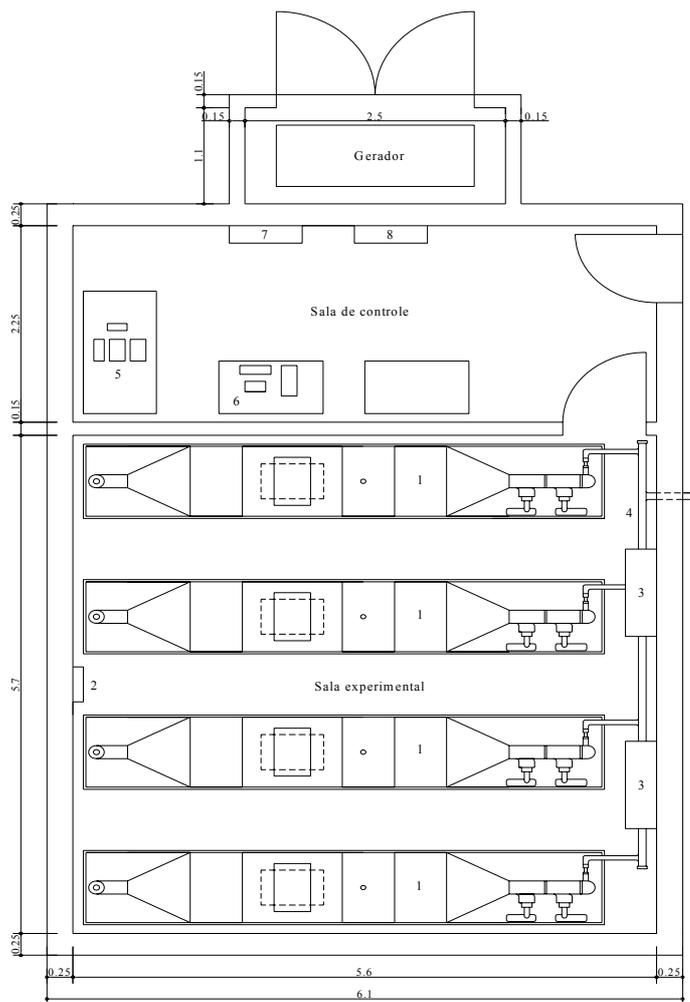
2.1 Estrutura física e túneis de vento

Uma sala experimental de 5,6 x 5,7m e pé direito de 3,0m, situada no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, foi equipada com dois sistemas de ar condicionado com potência de 18.000 BTUs cada, para a manutenção de valores de t_{ar} básicos para a manutenção do ambiente desejado no interior da sala experimental (Figura 1).

No interior da sala foram instalados quatro túneis de vento (0,8 x 5,0m) com o propósito de se obter diferentes condições térmicas às quais pequenos animais possam ser submetidos. Os túneis, construídos em chapas de aço e tubos de PVC, possuem recirculação parcial de ar (Figura 2). Cada túnel possui dois aquecedores elétricos com potência de 600W e dois umidificadores com capacidade média de névoa de 300mlh^{-1} , distribuídos em dois estágios de funcionamento. Cada estágio de aquecimento pode ser expandido até 1800W de potência. O primeiro estágio permite que a t_{ar} e UR no interior de cada túnel atinja um valor mínimo de referência e o segundo estágio é usado para se fazer um controle mais apurado destas variáveis.

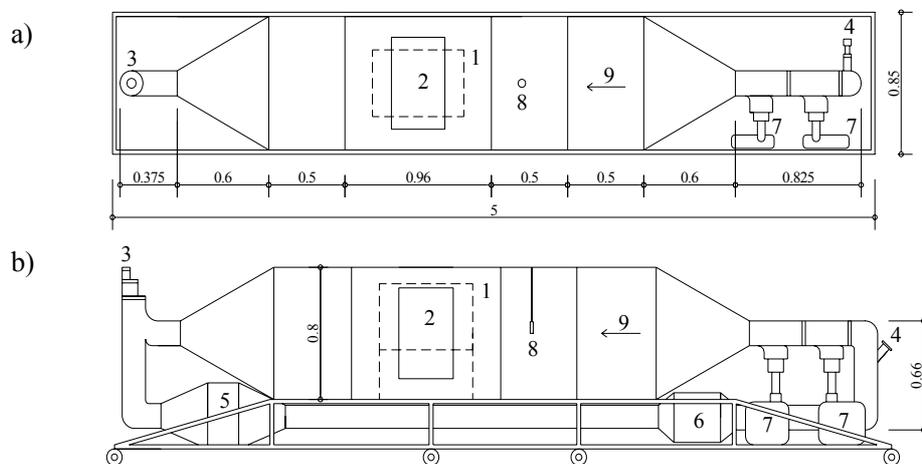
A velocidade do ar é controlada manualmente por meio de potenciômetros ligados a exaustores de 0,40m de diâmetro e vazão máxima de $4200\text{m}^3\text{h}^{-1}$. A área destinada aos animais é coberta com filme plástico de alta

transparência para que se possa fazer captura de imagens digitais e termográficas, e possui uma gaiola com área igual a $0,24\text{m}^2$ ($0,60 \times 0,40\text{m}$) e $0,40\text{m}$ de altura, cercada com tela de arame, para contenção dos animais.



- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Túneis de vento | 5. Módulo de aquisição, armazenamento e controle |
| 2. Contadores | 6. Computador para programação |
| 3. Ar condicionado | 7. Painel dos circuitos elétricos do sistema |
| 4. Dutos para saída de ar | 8. Painel de controle do gerador |

Figura 1 Esquema ilustrativo dos túneis de vento instalados no interior de uma sala equipada com sistema de resfriamento. **Illustrative scheme of the wind tunnels installed inside a room equipped with system cooling.**



- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Gaiola para os animais | 6. Aquecedores |
| 2. Janela com filme plástico | 7. Nebulizadores |
| 3. Entrada de ar | 8. Sensores |
| 4. Saída de ar | 9. Sentido do fluxo de ar |
| 5. Ventiladores | |

Figura 2 Vistas superior (a) e lateral (b) do túnel de vento. **Top (a) and lateral (b) views of the wind tunnel.**

2.2 Medição, instrumentação e controle

Um sistema de aquisição e controle das variáveis climáticas foi instalado no laboratório, composto por um *datalogger* (CR1000, *Campbell Scientific*), um multiplexador de canais (AM16/32B, *Campbell Scientific*), um controlador de relês (SDM-CD16AC, *Campbell Scientific*), sensores de t_{ar} e UR (HMP45C, Vaisala), sensores para medição da temperatura da água (108, Vaisala), termopares do tipo T para medição da temperatura do ar no interior (t_{sala}) e exterior (t_{ext}) da sala experimental, sendo que a temperatura de globo negro foi medida por termopares do tipo T instalados em globos negros.

Os aquecedores e umidificadores elétricos foram conectados ao *datalogger* CR1000 por meio de 16 canais do controlador de relês (modelo

SDM-CD16AC 16 Channel, AC/DC Controller, Campbell Scientific) ligados a 16 relés eletromagnéticos (Figura 3).

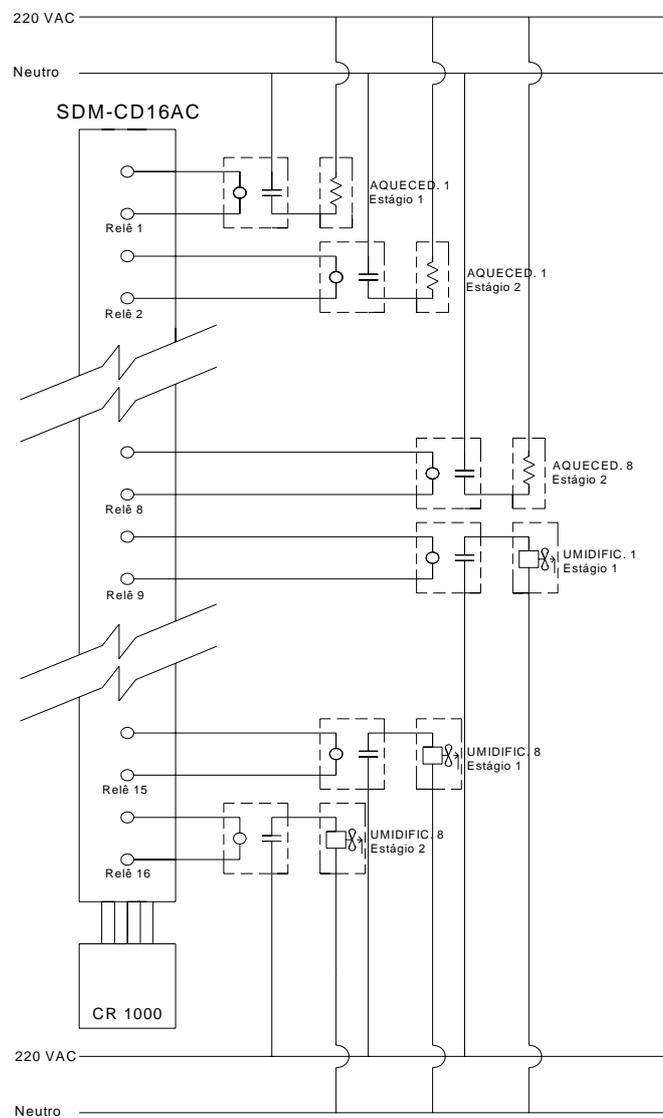


Figura 3 Esquema simplificado representando o circuito elétrico para controle da t_{ar} e UR no interior dos túneis de vento. **Simplified scheme representing the electric circuit for control of the t_{air} and RH inside the wind tunnels.**

O esquema de controle da t_{ar} e UR por meio de dois estágios de funcionamento seguiu a metodologia adotada por YANAGI JUNIOR et al. (2002), ilustrada na Figura 4. O estágio 1 é ativado quando a t_{ar} atinge um valor abaixo de $t_{ar}-\Delta t_{ar1}$, sendo que Δt_{ar1} representa um valor de confiança para o estágio 1 em relação à temperatura desejada, e é desativado quando t_{ar} atinge um valor acima de $t_{ar}+\Delta t_{ar1}$. O segundo estágio é ativado quando a t_{ar} é inferior ao valor desejado e é desativado quando a t_{ar} é superior a esse mesmo valor.

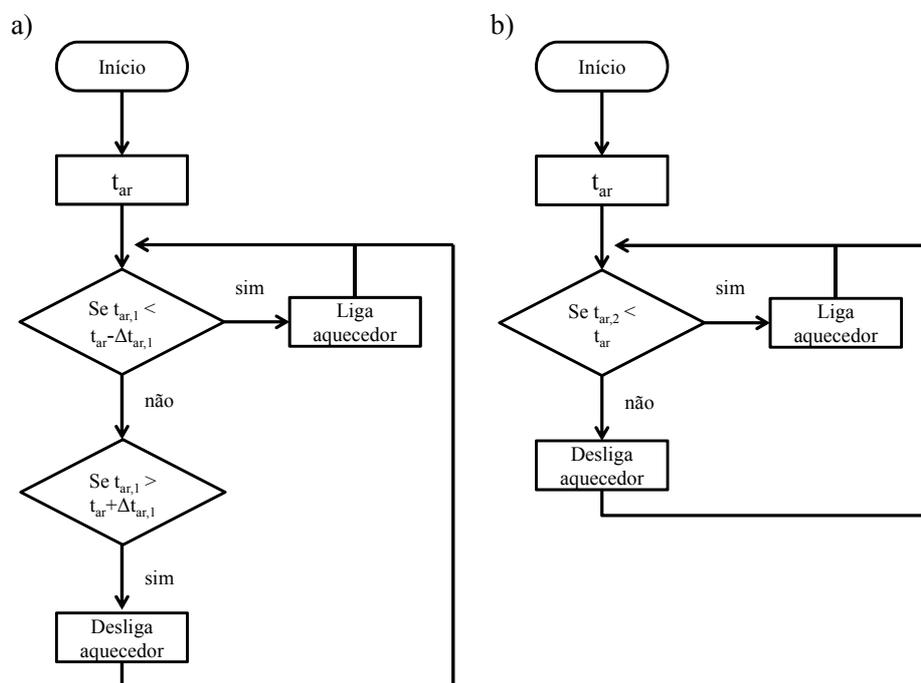


Figura 4 Fluxograma ilustrando a lógica de controle de t_{ar} para os estágios 1 (a) e 2 (b). A mesma lógica é aplicada para controle de UR. **Flowchart illustrating the logic of t_{air} control for the stages 1 (a) and 2 (b). The same logic is applied for control of RH.**

Os valores de velocidade do ar no interior dos túneis de vento foram mensurados por meio de um anemômetro digital de hélice. Para tanto, foram

obtidos os valores de velocidade do ar em 15 pontos distribuídos sobre uma malha imaginária localizada na sessão transversal da gaiola e deslocada 0,15m no sentido longitudinal (Figura 5). Foram realizadas três repetições para cada ponto, totalizando 45 pontos de medição para cada túnel de vento.

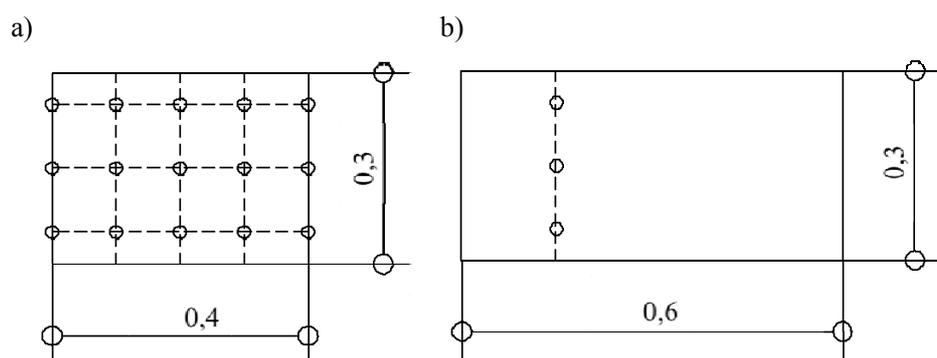


Figura 5 Representação dos pontos de medição da velocidade do ar nas sessões transversal (a) e longitudinal (b) da gaiola. **Representation of the points of measurement of the speed of the air in the traverse sessions (a) and longitudinal (b) of the cage.**

Um sistema com quatro câmeras digitais (*TRENDnet*, modelo TV-IP422W) equipadas com comunicação *wireless* foi instalado a fim de monitorar o comportamento animal para posterior análise, e a temperatura superficial dos animais foi monitorada por meio de câmera termográfica (*Fluke*, modelo TI55FT20/54/7.5).

Os valores de t_{ar} , UR, t_{sala} e t_{ext} , para cada *setpoint* (valor pré-estabelecido de temperatura do ar), foram medidos e registrados em intervalos de 10 em 10 segundos, por um período de aproximadamente 8 horas, totalizando 2880 dados, sem a presença de animais no interior dos túneis de vento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de calibrar o sistema, foi avaliada a capacidade de cada túnel em manter uma t_{ar} e UR desejada (*setpoint*). Para tanto foram testadas quatro t_{ar} (24, 27, 30 e 33°C) para uma UR de 60%. Verificou-se que para as temperaturas desejadas de 24 e 27°C foi necessário a utilização apenas do primeiro estágio de aquecimento, enquanto que para as temperaturas de 30 e 33°C foram utilizados os dois estágios. Os nebulizadores funcionaram sempre em dois estágios, independente do valor da temperatura. Os resultados obtidos a partir da calibração são listados na Tabela 1 e os *boxplots* das temperaturas de 24, 27, 30 e 33°C e umidade relativa de 60% estão representados na Figura 6.

Em pesquisas realizadas por Silva et al. (2011), Oliveira et al. (2010), Sanches et al. (2010) e Oliveira Neto et al. (2007), foram observados, no interior das câmaras climáticas, desvios de 1,30°C, 0,60°C, 2,90°C, 0,50°C, respectivamente, para t_{ar} , e 6,8%, 3,2%, 7,3%, 3,1%, respectivamente, para UR, enquanto que no presente trabalho os desvios máximos foram de 0,19°C e 0,75% para t_{ar} e UR, respectivamente, indicando, dessa forma, melhor habilidade para controle do ambiente. Essa capacidade de manutenção do *setpoint* deve-se, principalmente, à recirculação parcial de ar no interior dos túneis de vento, bem como, às características inerentes ao sistema e ao manejo.

Tabela 1 Condições ambientais observadas nos túneis de vento durante o período de calibração. **Environmental conditions observed in the wind tunnels during the calibration period**

Túnel	Temperatura (°C)					Umidade Relativa (%)				
	<i>setpoint</i>	média±dp	mediana	mínimo	máximo	<i>setpoint</i>	média±dp	mediana	mínimo	máximo
1	33,0	32,9±0,2	32,9	32,5	33,5	60,0	60,1±0,7	60,1	57,1	62,3
	30,0	30,0±0,2	30,0	29,6	30,4	60,0	60,1±0,7	60,1	58,3	62,8
	27,0	27,0±0,1	27,0	26,7	27,2	60,0	60,4±0,6	60,4	59,0	63,3
	24,0	24,1±0,1	24,1	23,8	24,3	60,0	60,6±0,7	60,4	59,2	62,7
2	33,0	33,0±0,2	33,0	32,6	33,5	60,0	60,2±0,5	60,2	58,3	62,2
	30,0	30,1±0,2	30,1	29,6	30,6	60,0	60,3±0,5	60,3	59,0	62,9
	27,0	27,0±0,1	27,0	26,7	27,4	60,0	60,5±0,6	60,4	59,2	62,1
	24,0	24,1±0,1	24,1	23,8	24,5	60,0	60,6±0,6	60,5	59,4	62,4
3	33,0	32,9±0,2	32,9	32,4	33,5	60,0	60,1±0,6	60,1	58,6	62,2
	30,0	30,0±0,2	29,9	29,4	30,4	60,0	60,1±0,7	60,1	58,4	62,8
	27,0	26,9±0,1	26,9	26,6	27,2	60,0	60,4±0,6	60,3	59,0	62,5
	24,0	24,0±0,1	24,0	23,6	24,3	60,0	60,5±0,7	60,4	59,1	62,9
4	33,0	32,9±0,2	32,9	32,5	33,4	60,0	60,1±0,6	60,1	58,0	62,6
	30,0	29,9±0,2	29,9	29,5	30,4	60,0	60,1±0,8	60,0	58,0	62,8
	27,0	26,9±0,1	26,9	26,4	27,2	60,0	60,3±0,6	60,3	58,7	62,9
	24,0	24,1±0,1	24,1	23,7	24,4	60,0	60,6±0,6	60,5	59,3	62,5

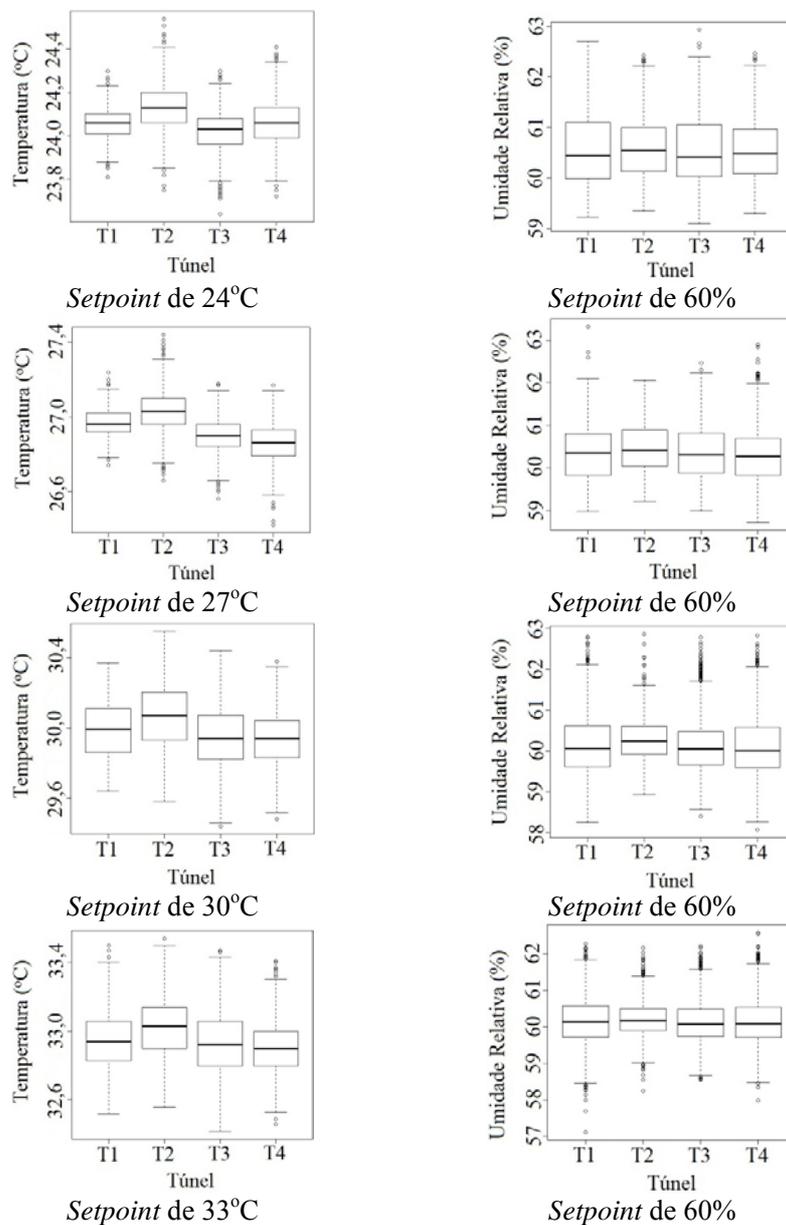


Figura 6 *Boxplots* das temperaturas de 24, 27, 30 e 33°C e umidade relativa de 60% para cada túnel de vento (T1, T2, T3 e T4). **Boxplots of the temperatures of 24, 27, 30 and 33°C and relative humidity of 60% for each wind tunnel (T1, T2, T3 and T4)**

Os valores obtidos para a velocidade do ar no interior dos túneis de vento estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 Valores observados para a velocidade do ar na sessão transversal da gaiola localizada no interior dos túneis de vento. **Values observed for the air velocity in the cross session of the cage located inside the wind tunnels**

Túnel	Velocidade do ar (ms ⁻¹)			
	média±dp	mediana	mínimo	máximo
1	0,48±0,05	0,50	0,30	0,60
2	0,48±0,04	0,50	0,40	0,60
3	0,47±0,05	0,50	0,30	0,60
4	0,48±0,05	0,50	0,30	0,60

Pela Figura 7, observa-se que os tempos de resposta para que as temperaturas do ar no interior dos túneis de vento atingissem os valores previamente estabelecidos (*setpoints*) foram de 19min10s, 20min10s, 17min00s e 30min00s, para as temperaturas de 24°C, 27°C, 30°C e 33°C, respectivamente. As variações das temperaturas do ambiente externo e do interior da sala onde os túneis estavam localizados, para os valores de *setpoints* previamente citados, foram de 29,95±2,8°C e 22,28±0,54°C, 30,83±2,68°C e 23,91±0,59°C, 30,13±2,28°C e 25,13±0,59°C, 28,38±2,28°C e 27,05±1,22°C.

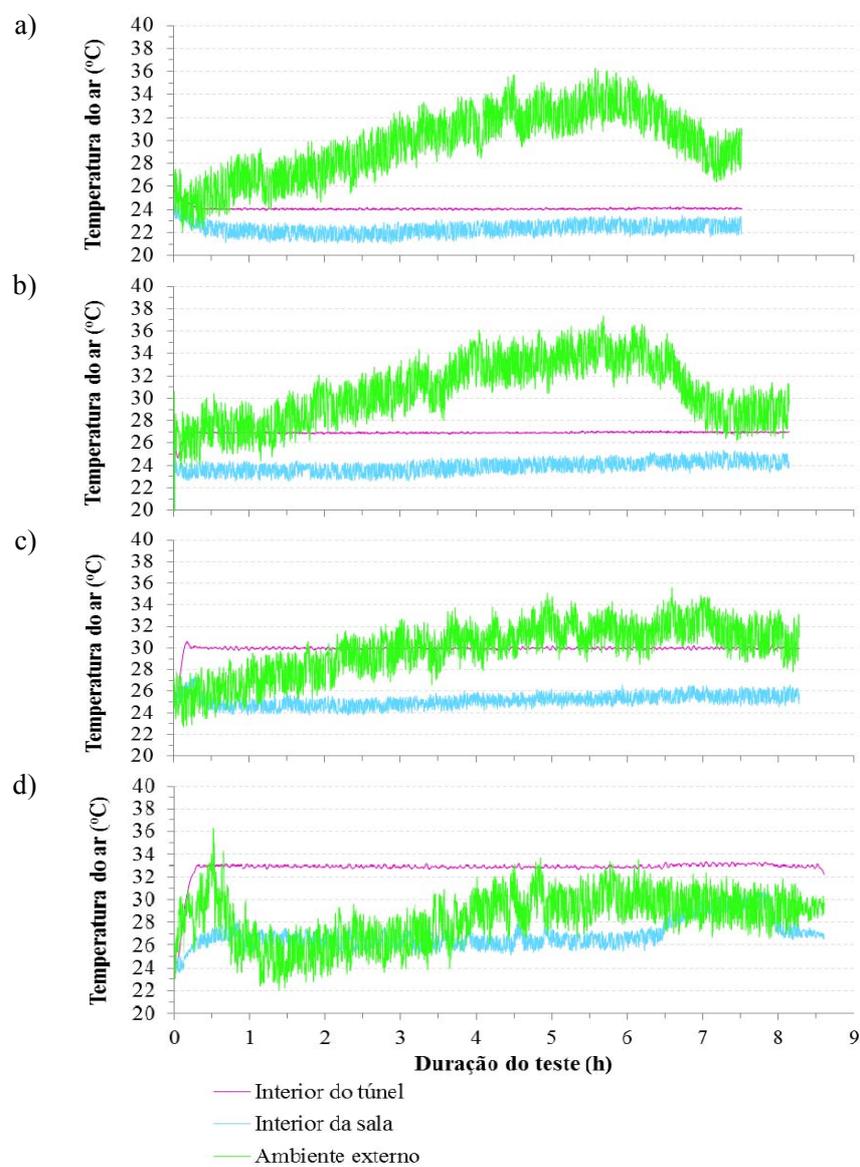


Figura 7 Comportamento da temperatura do ar no interior do túnel de vento, no interior da sala e no ambiente externo para os *setpoints* de 24°C (a), 27°C (b), 30°C (c) e 33°C (d). **Behavior of the air temperature inside the wind tunnel, inside the room and in the external environment for the set points of 24°C (a), 27°C (b), 30°C (c) and 33°C (d)**

Imagens capturadas no interior dos túneis de vento pelas câmeras IPs (Figuras 8a e 8b) permitem o desenvolvimento de estudos relacionados ao comportamento animal. Por sua vez, as imagens termográficas (Figuras 8c e 8d) possibilitam o monitoramento da temperatura superficial de animais, permitindo a condução de pesquisas que envolvam apenas a avaliação dessa resposta do animal, o estudo de resfriamento evaporativo direto (YANAGI JUNIOR et al., 2002), a validação de modelos baseados em equações de transferência de calor e massa.

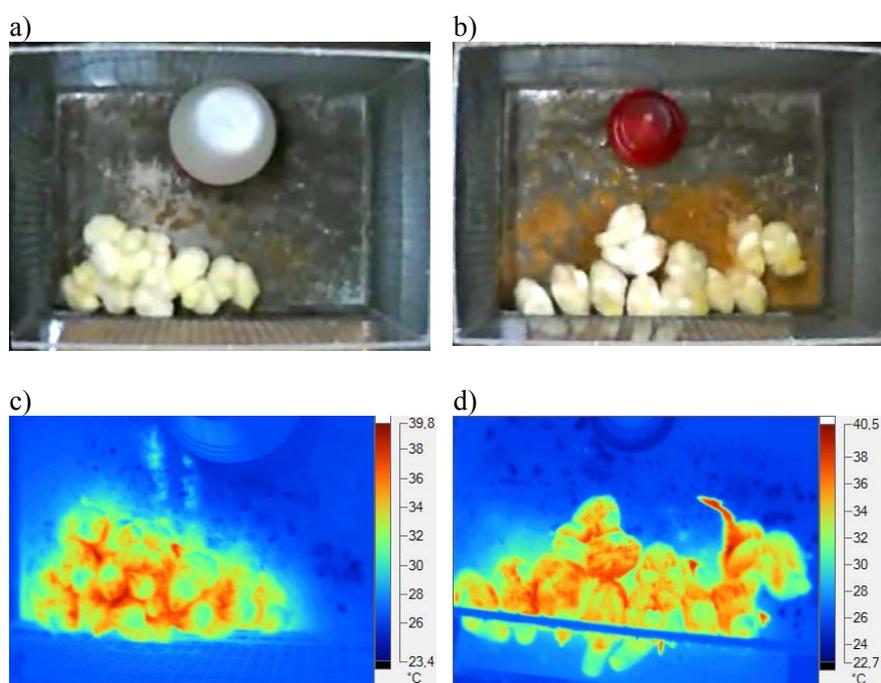


Figura 8 Imagens (a e b) de vídeo e (c e d) termográficas capturadas no interior dos túneis de vento, para as temperaturas (a e c) de 24°C e (b e d) 30°C, e, umidade relativa de 60%. **Video (a and b) and thermographic (c and d) images captured inside the wind tunnels, for the temperatures of 24°C (a and c) and 30°C (b and d), and, relative humidity of 60%**

4 CONCLUSÕES

Um sistema de aquisição, armazenamento e controle de dados foi desenvolvido para estudos da interação entre condições térmicas e respostas fisiológicas para pequenos animais. Verificou-se que o sistema apresentou desvios de $\pm 0,19^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,75\%$ e $\pm 0,05\text{ms}^{-1}$ para t_{ar} , UR e V, respectivamente, quando se compara os valores medidos no interior dos túneis àqueles pré-estabelecidos (*setpoints*).

REFERÊNCIAS

- DAMASCENO, F.A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R.R.; GOMES, R.C.C.; MORAES, 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.
- FERREIRA, F.; CAMPOS, W.E.; CARVALHO, A.U.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L.; SILVA, M.V.G.B.; VERNEQUE, R.S.; SILVA, P.F. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, Belo Horizonte, v.61, n.4, p.769-776, ago. 2009.
- KIEFER, C.; MEIGNEN, B.C.G.; SANCHES, J.F.; CARRIJO, A.S. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. *Archivos de zootecnia*, Córdoba, v.58, n.221, p.55-64, mar. 2009.
- MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; ANDRADE, P.C. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos em câmara climática. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.38, n.1, p.104-108, jan. 2009.
- OBA, A.; SOUZA, P.A.; SOUZA, H.B.A.; LEONEL, F.R.; PELICANO, E.R.L.; ZEOULA, N.M.B.; BOLELLI, I.C. Qualidade da carne de frangos de corte submetidos a dietas suplementadas com crômio, criados em diferentes temperaturas ambientais. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, Maringá, v.29, n.2, p.143-149, 2007.
- OLIVEIRA NETO, A.R.O.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; BARRETO, S.L.T.; VAZ, R.G.M.V.; GASPARINO, E. Níveis de metionina + cistina total para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade mantidos em ambiente termoneutro. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.36, n.5, p.1359-1364, set./out. 2007.
- OLIVEIRA, W.P.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; MARTINS, M.S.; ASSIS, A.P. Redução do nível de proteína bruta em rações para frangos de corte em ambiente de estresse por calor. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.39, n.5, p.1092-1098, maio 2010.
- PEREIRA, D.F.; BIGHI, C.A.; GABRIEL FILHO, L.R.; GABRIEL, C.P.C. Sistema *fuzzy* para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.28, n.4, p.624-634, out./dez. 2008.

PEREIRA, D.F.;SALGADO, D.D.; NÄÄS, I.A.; PENHA, N.L.J.; BIGHI, C.A. Efeitos da temperatura do ar, linhagem e período do dia nas frequências de ocorrências e tempos de expressão comportamental de matrizes pesadas. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.596-610, set./dez. 2007.

SANCHES, J.F.; KIEFER, C.; MOURA, M.S.; SILVA, C.M.; LUZ, M.F.; CARRIJO, A.S. Níveis de ractopamina para suínos machos castrados em terminação e mantidos sob conforto térmico. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.2, p.403-408, fev. 2010.

SILVA, E.A.; KIEFER, C.; MOURA, M.S.; BÜNZEN, S.; SANTOS, A.P.; SILVA, C.M.; NANTES, C.L. Duração da suplementação de ractopamina em dietas para leitoas em terminação mantidas sob alta temperatura ambiente. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41, n.2, p.337-342, fev. 2011.

SILVA, V.K.; SILVA, J.D.T.; GRAVENA, R.A.; MARQUES, R.H.; HADA, F.H.; MORAES, V.M.B. Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade alimentados com rações contendo extrato de leveduras e prebiótico e criados em diferentes temperaturas. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.38, n.4, p.690-696, abr. 2009.

SIQUEIRA, J.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; BALBINO, E.M.; OLIVEIRA, W.P. Níveis de lisina digestível da ração e temperatura ambiente para frangos de corte em crescimento. *R. Bras. Zootec.*, Viçosa, v.36, n.6, p.2054-2062, 2007 (supl.).

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R.S.A research facility for studying poultry responses to heat stress and its relief. *Applied Engineering in Agriculture*, v.18, n.2, p.255-260, 2002.