

## DIMENSIONAMENTO DE UMA FORNALHA A CARVÃO VEGETAL PARA AQUECIMENTO DE AVIÁRIO

Williams Pinto Marques Ferreira<sup>1</sup>; Juarez de Sousa e Silva<sup>2</sup>; Jadir Nogueira da Silva<sup>2</sup> e  
Cecília de Fátima Souza<sup>2</sup>

### RESUMO

Este trabalho objetivou definir parâmetros para dimensionamento de uma fornalha para suprimento de calor em aviário. Uma fornalha a carvão vegetal e fogo direto foi construída e conectada a uma área de 108m<sup>2</sup> de galpão (módulo) por meio de um conjunto de tubulações, que conduziu e distribuiu o ar aquecido para o interior. Avaliou-se a temperatura no interior desse módulo aquecido pela fornalha, a temperatura no interior de um módulo aquecido por campânula elétrica dotado de círculo de proteção e a temperatura do ambiente externo ao aviário. Os valores de temperatura no interior do módulo aquecido pela fornalha apresentaram-se com menor amplitude ao longo do período estudado, comprovando a viabilidade deste sistema, em comparação com o sistema de aquecimento pela campânula elétrica, cujo uso é alternativo, mas o custo é elevado.

**Palavras-chave:** Fornalha, Avicultura de corte, Aquecimento do ar.

### ABSTRACT

#### Dimensioning the charcoal furnace for heating the poultry housing

This work aimed to define design parameters of a furnace able to provide enough heat for a poultry house. A coal supplied charcoal furnace provided with direct fire was constructed and connected to an area of 108m<sup>2</sup> (poultry module) by a set of tubes conducting and distributing the heated air throughout the module. The following parameters were evaluated: the temperature inside this poultry module heated by a furnace; the temperature inside an poultry module heated by an electric heater; and the temperature in the external environment. The values of the temperature inside the poultry house heated by a furnace showed smaller amplitude during the experimental period, therefore proving the viability of this system, compared to the most used electric heating system, from which the cost is high.

**Keywords:** Furnace, Poultry production, Air Heating.

---

Recebido para publicação em 12.05.2006

<sup>1</sup> Dr. Pesquisador - Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Brazil, [williams@cnpms.embrapa.br](mailto:williams@cnpms.embrapa.br)

<sup>2</sup> Prof. Ph.D. Universidade Federal de Viçosa (UFV), [juarez@ufv.br](mailto:juarez@ufv.br)

<sup>2</sup> Prof. Ph.D. Universidade Federal de Viçosa (UFV), [jadir@ufv.br](mailto:jadir@ufv.br)

<sup>2</sup> Profa. Dra. Universidade Federal de Viçosa (UFV), [cfsouza@ufv.br](mailto:cfsouza@ufv.br)

## INTRODUÇÃO

O setor de produção animal não está isento dos problemas associados aos custos de produção e, em razão do aumento na demanda produtiva, cada vez mais é empregada a tecnificação em toda a cadeia produtiva e processamento. O crescente emprego de tecnologia em alguns setores está, diretamente, associado ao aumento no consumo de energia elétrica.

Atualmente, o Brasil figura como o maior exportador mundial de carne de frango, com 2.761.966 toneladas, embora ocupe a terceira posição no ranking mundial dos maiores produtores de frango para corte, com uma produção de 9.297.151 toneladas em 2005, o que equivale a 16,1% da produção mundial de 58,227 milhões de toneladas. Segundo dados da União Brasileira de Avicultura (Uba, 2006), a avicultura brasileira registrou um aumento de 8,8% nas exportações, em 2005, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e China.

A avicultura destaca-se no setor agrícola não somente como grande consumidor de energia elétrica, por utilizar grande número de equipamentos eletromecânicos, mas, também pelo elevado volume de gás liquefeito de petróleo (GLP) consumido no processo de calefação, principalmente durante a fase inicial de produção, quando os pintos necessitam de ambiente com temperatura próxima a 32 °C.

De acordo com Esmay (1969), a temperatura corporal interna para esta espécie varia de 41,5 a 41,7 °C. Para manter essa temperatura do núcleo corporal, o animal utiliza mecanismos de termorregulação, acionados de acordo com a situação ambiental imposta. Como o pinto recém-nascido não apresenta o seu sistema termorregulatório bem desenvolvido até, aproximadamente, o 15º dia de vida, necessita ter o ar ambiente aquecido, de forma que permita manter a temperatura do ar confortável para o seu desenvolvimento saudável.

As temperaturas em que as aves encontram o conforto térmico variam ao longo do seu ciclo de vida, sendo necessário

de 32 °C a 33 °C nos três primeiros dias de vida, reduzindo-se em aproximadamente 3 °C a cada semana de vida, chegando a 24 °C na fase final de vida, quando as aves já estão totalmente empenadas (Albino, 1998). Portanto, para atender às necessidades térmicas ambientais das aves no início do processo produtivo, o aquecimento fundamentalmente indispensável, sendo o gás GLP o combustível atualmente mais utilizado para este fim. Todavia, o uso de campânulas elétricas ainda é muito comum como alternativa, em curtos períodos de tempo, normalmente durante a necessidade de reparos no sistema de uso tradicional. Assim, a adoção de outra fonte de energia alternativa de menor custo, em substituição às tradicionais, pode resultar em economia, com reflexos positivos no lucro do produtor.

O uso de fornalhas é muito comum no meio rural, sendo estas normalmente destinadas à queima de biomassa, como o carvão vegetal, combustível que possui maior poder calorífico do que a lenha e apresenta a vantagem de não poluir o ambiente, por ser praticamente isento de alcatrão e água, que são os principais responsáveis pela formação de fumaça.

Existem dois tipos básicos de fornalhas: uma com aquecimento direto do ar, conhecida como “fornalha de fogo direto”; e outra com aquecimento indireto do ar, conhecida como “fornalha de fogo indireto”. O tipo de fornalha mais indicado é escolhido em função do objetivo de sua aplicação.

Sabe-se que há maior emprego de fornalhas com aquecimento direto, pelo fato dessas apresentarem maior eficiência energética devido ao melhor aproveitamento da energia cedida pelo combustível. Assim, na construção de uma fornalha de fogo direto, algumas considerações devem ser observadas. Em primeiro plano, deve-se considerar a exigência térmica do sistema de aquecimento, ou seja, a quantidade de calor que deverá ser fornecida durante determinado intervalo de tempo. O tipo de combustível a ser consumido e o dispositivo a ser utilizado para a queima deste combustível são também, parâmetros decisivos para definir a forma e o tamanho da fornalha, pois, cada combustível apresenta suas próprias características.

Em segundo plano, o projeto deve contemplar o volume da câmara de combustão, a qual é destinada a assegurar todas as condições necessárias à oxidação completa dos combustíveis, devendo ser dimensionada para atender a demanda de energia na forma de calor necessária para aplicação na atividade agrícola.

Deve-se considerar, também, o volume da célula de queima, também conhecida como grelha, que é a estrutura destinada a manter o combustível sólido em suspensão, durante o processo de combustão, permitindo, assim, que o ar comburente circule por toda sua superfície até extinguir todos os constituintes oxidáveis. São comumente planas ou inclinadas. A redução na eficiência da fornalha ocorre, quando o fluxo de ar toma caminhos preferenciais, prejudicando a combustão.

A taxa de combustão ( $N_c$ ), que representa a massa de combustível queimado por unidade de área da grelha e por unidade de tempo, é o parâmetro de projeto para o dimensionamento de grelhas. Segundo Oliveira Filho (1987), para o uso de lenha, palha e bagaço de cana queimados em fornalha com grelha plana, carga manual e ar forçado, a taxa

de combustão deve situar-se entre 150 e 300  $\text{kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

Andrade (1982) cita valores de taxa de combustão, também denominada como taxa de carregamento, variando entre 30 e 40  $\text{kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ , podendo chegar até 60  $\text{kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

Lopes (2002) estudou o desempenho de uma fornalha a carvão vegetal, para diferentes tamanhos de células de queima. O consumo de combustível e a taxa de combustão em função da vazão de ar aquecido são apresentados no Quadro 1, para dois tamanhos de grelha.

Em último plano, deve-se considerar o posicionamento das aberturas para passagem de ar primário e secundário, bem como o tempo de residência do ar primário no interior da câmara de combustão, sendo todos esses de acordo com as exigências consideradas em primeiro plano.

Destaca-se, ainda, que a taxa de ventilação requerida por frangos de corte no interior do galpão depende da idade, tamanho, manejo da cama, características construtivas dos galpões e condições de temperatura e umidade do ar interno. De acordo com Midwest Plan Service (1980), grandes galpões devem ter o ar renovado entre cinco a dez vezes por hora.

**Quadro 1.** Taxa de consumo de combustível e combustão para duas células de queima utilizadas no aquecimento de ar à temperatura de 40 °C, nas vazões de 25, 40 e 55  $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$

Vazão (Q) $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$	Consumo de combustível $\text{kg.h}^{-1}$	Taxa de combustão $\text{Kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$
Célula C <sub>0</sub> (0,20 x 0,17 x 0,10) *		
25	1,272	11,8
40	2,333	21,6
55	2,405	22,5
Célula C <sub>1</sub> (0,20 x 0,20 x 0,17) *		
25	1,365	5,7
40	2,236	9,3
55	2,400	10,0

Fonte: (Lopes, 2002). \*Dimensões internas em metros.

Portanto, considerando-se a realidade no setor energético brasileiro e buscando atender principalmente o pequeno avicultor, oferecendo-lhe alternativas energéticas, este trabalho foi realizado com o objetivo de definir parâmetros de dimensionamento de uma fôrnalha de fogo direto a carvão vegetal, para o aquecimento de aviário.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de maio a junho de 2003, nas dependências do Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - Minas Gerais.

O galpão avícola utilizado para a condução do experimento possui 100 metros de comprimento por 12 metros de largura e pé direito de 4 metros. Da área total do galpão, foram utilizadas duas partes iguais (módulos), sendo uma para o uso do sistema de campânula elétrica e outra, com área de 108m<sup>2</sup>, para o uso do sistema de aquecimento com fôrnalha.

Ambos os módulos foram cobertos por cortinas laterais nos quatro lados, sendo que o módulo aquecido com ar proveniente da fôrnalha foi também coberto na parte superior, representando um forro à altura de 1,80 metros do piso do galpão.

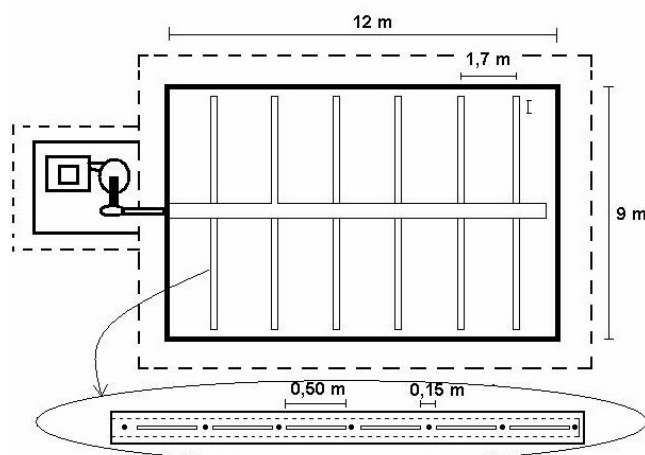
Foi construída uma fôrnalha a carvão vegetal, projetada para aquecer um módulo, ou seja, uma área de galpão de 9 x 12m, sendo o interior do

módulo aquecido por meio da fôrnalha e a temperatura comparada à temperatura alcançada no interior de um círculo de proteção, instalado no outro módulo do mesmo galpão.

O aquecimento do ambiente pela fôrnalha e do círculo de proteção pela campânula iniciou-se no dia 17 de maio, seguindo-se sem interrupção (24 horas por dia) até o dia 16 de junho. Durante esse período, buscou-se fornecer o calor necessário para manter a temperatura interna do galpão nos níveis de conforto térmico, indicados para as aves durante os primeiros 15 dias de vida, porém, o experimento transcorreu sem a presença de aves.

Com objetivo de reduzir o gradiente de temperatura no interior do galpão aquecido pela fôrnalha, foi construído um sistema de distribuição de ar, o qual conduziu o ar aquecido por dois tubos de PVC de 200 mm, interligados, funcionando como duto principal centralizado no módulo do galpão e conectado ao duto externo, sendo este localizado entre a divisória do galpão e o ventilador da fôrnalha. A partir do duto principal, foram derivados 6 dutos secundários perpendiculares, cada um composto por dois tubos de PVC de 100 mm, espaçados entre si de 1,7 m. Essa malha foi depositada sobre a cama das aves (Figura 1).

Foram feitas seis fendas de 0,5 m de comprimento e 0,01 m de largura na parte superior de cada duto secundário, espaçadas entre si de 0,015 m. Através dessas fendas, o ar aquecido pela fôrnalha era transferido para o interior do galpão.



**Figura 1.** Desenho esquemático da vista superior do módulo do galpão com sistema de distribuição de ar aquecido.

O aquecimento com campânula elétrica foi utilizado como testemunha porque é considerado eficiente, bem como devido sua praticidade, sendo muito utilizado como recurso alternativo nos momentos em que ocorrem problemas com quaisquer dos outros sistemas adotados pelo produtor.

A temperatura no interior da campânula foi obtida por meio de dois termohigrógrafos, em dois pontos distintos à altura das aves, a fim de identificar a diferença de temperatura existente no interior do círculo de proteção. Um ponto de coleta foi centrado no círculo de proteção e o outro na metade do raio do círculo de proteção.

Foram ainda instalados dois termohigrógrafos para a coleta dos dados de temperatura do ar e umidade relativa no interior do módulo aquecido com ar fornecido da fornalha, também à altura das aves, e no ambiente externo ao galpão, em um abrigo meteorológico.

A quantidade de calor necessário para aquecimento do ar no gradiente térmico ( $\Delta T$ ) foi calculada pela equação a seguir com base na vazão mássica do ar ( $\dot{m}_{ar}$ ).

$$\dot{Q}_{ar} = \dot{m}_{ar} \times C_p \times \Delta T \quad (1)$$

em que,

$\dot{Q}_{ar}$  = calor necessário para aquecer o ar,  $\text{kJ.s}^{-1}$ ;

$\dot{m}_{ar}$  = vazão mássica de ar,  $\text{kg.s}^{-1}$ ; e

$\Delta T$  = gradiente de temperatura,  $^{\circ}\text{C}$ .

A vazão de ar necessária para aquecimento do interior do aviário foi determinada com base na velocidade média, estimada na saída dos dutos e na área total de saída do ar nos dutos, sendo os dados obtidos por um anemômetro digital com precisão de leitura de  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ .

Para o cálculo da exigência térmica do sistema de aquecimento, considerou-se que a temperatura média ambiente era  $12^{\circ}\text{C}$  e a temperatura média de conforto da aves era  $32^{\circ}\text{C}$ .

Destaca-se que, a princípio, não foram comparados os custos envolvidos nos dois processos de aquecimento.

O PCS do carvão foi calculado por meio de análise imediata, de acordo com as normas ASTM D-1762-64 e da ABNT NBR 8112/83, que foi realizada no laboratório de energia da madeira da Universidade Federal de Viçosa. O PCI foi calculado de acordo com a Equação 2, a seguir com base no PCS do carvão utilizado nos testes, sendo  $30.373,62 \text{ kJ.kg}^{-1}$  o valor encontrado.

$$PCI = PCS - 2450 \times (9 \times P_{H_2}) \quad (2)$$

em que,

PCI = poder calorífico inferior do carvão,  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ;

PCS = poder calorífico superior do carvão,  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ; e

$P_{H_2}$  = fração de hidrogênio no combustível,  $\text{kg de H}_2$  por  $\text{kg de combustível}$ .

Considerado para efeito do cálculo da vazão mássica de combustível, o rendimento da fornalha foi de 83%, valor intermediário aos valores encontrados por Lopes (2002) para fornalha de fogo direto a carvão vegetal.

Comumente, as grelhas são planas ou inclinadas, mas optou-se por adotar a grelha retangular volumétrica\*.

De acordo com Andrade et al. (1984), com base na taxa de carregamento, a superfície da grelha foi determinada por meio da seguinte equação:

$$Sg = \frac{\dot{m}_c}{\left(\frac{N_c}{3600}\right)} \quad (3)$$

em que ,

$Sg$  = superfície da grelha,  $\text{m}^2$ ; e

$N_c$  = taxa de carregamento,  $\text{kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

\* Este tipo de grelha difere das planas por possuir além de largura e comprimento, uma altura a ser preenchida com o combustível.

A superfície livre da grelha é, também um dos fatores que influenciam a taxa de carregamento, além de outros, como o tipo de combustível, tipo de grelha, a velocidade do ar comburente etc. Nuber (1975), propôs o cálculo da superfície livre da grelha, considerando-se o escoamento do ar com certa velocidade “v” na grelha:

$$S_l = \frac{\dot{m}_c \times V_{ar}^t}{v \times 3.600} \quad (4)$$

em que,

$S_l$  = superfície livre de grelha, m<sup>2</sup>;

$V_{ar}^t$  = volume teórico de ar para queima de combustível; Nm<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> de combustível;

v = velocidade da tiragem de ar artificial, m.s<sup>-1</sup>; e

3600 = fator de conversão de m.s<sup>-1</sup> para m.h<sup>-1</sup>.

Para o cálculo da quantidade de combustível a ser consumido, deve-se levar em consideração diversos fatores, como o poder calorífico, a carga térmica volumétrica e o rendimento da fornalha. De acordo com Pinto et al. (1992), o consumo ou vazão mássica de combustível pode ser calculado, empregando-se a seguinte equação:

$$\dot{m}_c = 60 \times \frac{\rho_{mar} \times \dot{V}_{ar} \times C_p \times (T_s - T_{ar})}{\eta \times PCI} \quad (5)$$

em que,

$\dot{m}_c$  = consumo ou vazão mássica de combustível, kg.h<sup>-1</sup>;

$\dot{V}_{ar}$  = vazão volumétrica de ar, m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>;

Cp = calor específico do ar (30°C) a pressão constante, 1,0062 kJ.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>;

pmar = massa específica média do ar, kg.m<sup>-3</sup>;

Ts = temperatura do ar aquecido, °C;

Tar = temperatura do ar ambiente, °C; e

η = rendimento térmico da fornalha, decimal.

Para o dimensionamento grelha retangular volumétrica, levou-se em consideração a taxa de carregamento, adotada com base nos resultados obtidos por Lopes (2002). O valor escolhido levou em consideração o consumo de combustível, a vazão, a temperatura na qual o ar deveria ser aquecido e as dimensões das grelhas estudadas anteriormente pelo mesmo autor.

Considerando a grelha, utilizada por Lopes (2002), com dimensões aproximadas às da utilizada no presente trabalho, foi adotada uma taxa de liberação de energia, k = 130 kW.m<sup>-3</sup>, valor intermediário em relação aos encontrados por Oliveira Filho (1987) e Lopes (2002).

A área da grelha foi calculada por meio da Equação 3, cujos resultados levaram a dimensões que tornariam a área interna relativamente pequena, optou-se então por construir uma grelha com dimensões superiores a calculada.

A grelha foi construída com dimensões intermediárias às grelhas C0 e C1, testadas por Lopes (2002), porém com dimensões superiores às da calculada (Quadro 2).

**Quadro 2.** Diferentes dimensões adotadas para a grelhas

Grelhas	Dimensões Externas a, b, c (m)	Dimensões Internas a, b, c (m)	Área Total Interna (m <sup>2</sup> )	Área Total Externa (m <sup>2</sup> )
C0	--	0,20 x 0,17 x 0,100	0,108	0,1725
C calculado	0,19 x 0,19 x 0,1965	0,14 x 0,14 x 0,171	0,127	0,1854
C adotado	0,20 x 0,20 x 0,2430	0,15 x 0,15 x 0,218	0,153	0,2344
C1	--	0,20 x 0,20 x 0,170	0,176	0,2400

A grelha adotada para o experimento teve relação entre a superfície livre e a total na faixa de 0,25 a 0,50, citada por Nuber (1975) para carvão vegetal.

De acordo com as considerações anteriores, a grelha foi construída com área total externa de 0,2344 m<sup>2</sup> e dimensões 0,20 m x 0,20 m x 0,243 m (Figura 2).

A câmara de combustão foi dimensionada com base na Equação 6, que representa a relação entre a taxa de liberação de energia líquida associada à quantidade de energia liberada por unidade de tempo com o volume da câmara de combustão.

$$K = \frac{\dot{q}}{V_{cc}} \quad (6)$$

em que,

K = carga térmica volumétrica, kW.m<sup>-3</sup>;

$\dot{q}$  = energia liberada pelo combustível, kW; e  
V<sub>cc</sub> = volume da câmara de combustão, m<sup>3</sup>.

A carga térmica volumétrica (K) depende, principalmente, do tipo de combustível, temperatura da chama, excesso de ar e turbulência, processo de queima e características da câmara de combustão. A

energia liberada do combustível (q) foi calculada por meio do produto da vazão mássica de combustível queimado por segundo, pelo poder calorífico inferior deste, de acordo com a equação.

$$\dot{q} = \dot{m}_c \times PCI \quad (7)$$

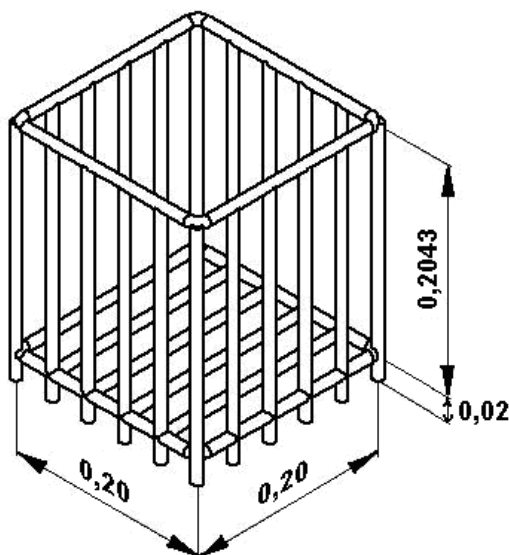
em que,

$\dot{m}_c$  = vazão mássica de combustível, kg.s<sup>-1</sup>; e

PCI = poder calorífico inferior, kJ.kg<sup>-1</sup>.

A fornalha contou com um sistema de alimentação automático, que permitia autonomia de até 8 horas, ou seja, o trabalho ocorria em regime contínuo, não necessitando de recarga durante esse período, o que não acontece normalmente em fornalhas a lenha. Esta característica representa economia de mão-de-obra e tempo para o produtor.

Na fornalha, foi também instalado um mecanismo automático de regulação da abertura da portinhola na entrada do ar primário, localizada na câmara de combustão. Esse controle de ar permitiu o controle da temperatura do ar fornecido para o interior do galpão. Tal fato eliminou a necessidade da presença constante de um operador.



**Figura 2.** Dimensões, em metros, da grelha retangular utilizada para a queima do carvão vegetal

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio utilizado ( $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), representou a média aritmética da velocidade do vento, nos vários furos ao longo dos dutos secundários distribuídos no interior do galpão. A vazão do projeto foi de  $0,54 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  ou  $32,40 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-1}$ . Considerando o volume do espaço aquecido ( $194,4 \text{ m}^3$ ), o valor encontrado representa dez renovações de ar por hora, o que está de acordo com o valor indicado em Midwest Plan Service (1980).

O volume encontrado para a câmara de combustão foi de  $0,111\text{m}^3 \cong 0,12\text{m}^3$ . De acordo esse valor, o volume da câmara de combustão foi então dimensionado com  $0,35 \times 0,55 \times 0,65\text{m}$ , aproximadamente.

O valor considerado para a taxa de carregamento foi de  $9,3 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , encontrado por Lopes (2002) para a grelha C1 de acordo com a Tabela 01, o que levou a uma área total de  $0,1854 \text{ m}^2$ , área do fundo da grelha: “a x b” de  $0,19 \times 0,19 = 0,0361 \text{ m}^2$ , área lateral da grelha: “a x c x 4” de  $0,19 \times 0,19 \times 4 = 0,14934 \text{ m}^2$ , sendo “a” e “b” a largura da base “fundo” da grelha, e “c” o comprimento “altura” da lateral da grelha. A vazão mássica de combustível encontrada por Lopes (2002) para a grelha C1 foi de  $2,236 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , para a taxa de carregamento, de  $9,3 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  (Quadro 01). Considerando-se que a vazão mássica de combustível calculada para o projeto foi de  $1,72 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  e as barras de ferro utilizadas para a construção da grelha foram de diâmetro 25 mm, superior às utilizadas por Lopes (2002), e espaçadas 2 cm entre si.

O consumo do carvão apresentou variação em função da variação da temperatura do ambiente externo, sendo maior quando ocorreram as menores temperaturas do ambiente externo não reduzindo à medida que ocorria o aumento dos valores de temperaturas do ambiente externo. Tal fato deveu-se ao aumento da injeção de ar comburente no interior da câmara de combustão, com objetivo de aumentar a taxa de liberação de energia, a qual automaticamente elevava a temperatura dos gases no interior da câmara

de combustão, restabelecendo a temperatura no interior do galpão.

Verificou-se a tendência de estabilização do consumo do combustível em  $2,7 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , quando a temperatura do ar ambiente ultrapassou  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Supõe-se que tal fato esteja associado à alta temperatura alcançada no interior da câmara de combustão, impedindo a redução da chama na célula de queima, o que reduziria ainda mais o consumo de carvão.

Na Figura 3, podem ser visualizados a linha de tendência e os valores observados do consumo de carvão em relação à ocorrência dos diferentes valores de temperaturas externas ocorridas durante os testes. Os resultados representam valores médios de dados que foram coletados, diariamente, em diferentes horários.

O consumo do combustível à vazão de  $32,40 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-1}$  para temperatura média do ar do ambiente externo acima de  $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$  foi inferior a  $4,5 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , mesmo valor obtido por Lopes (2002), trabalhando com a vazão de  $40 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-1}$ , para aquecimento do ar a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , temperatura esta obtida logo após a saída do ar do ciclone, antes de alcançar o interior do galpão a ser aquecido. Para temperatura média do ar ambiente de  $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , o consumo foi maior, chegando a  $5,5 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ , ou seja, quanto menor a temperatura do ar ambiente, maior a quantidade de energia a ser fornecida pela fornalha e, portanto, maior o consumo de combustível.

O baixo consumo de combustível é, extremamente, desejável por representar maiores lucros finais para o produtor.

Na Figura 4, para o período estudado, observa-se a variação da temperatura do ar no “Ambiente Externo”, em dois pontos no ambiente aquecido pela campânula, sendo um no centro do círculo de proteção (Centro Campânula), e o outro, na metade do raio do círculo de proteção (Campânula) e ainda, no interior do módulo aquecido pela fornalha (Galpão).

A temperatura no interior do módulo do galpão aquecido pela fornalha foi a que apresentou, em relação às demais, valores mais aproximados àqueles recomendados para aves.

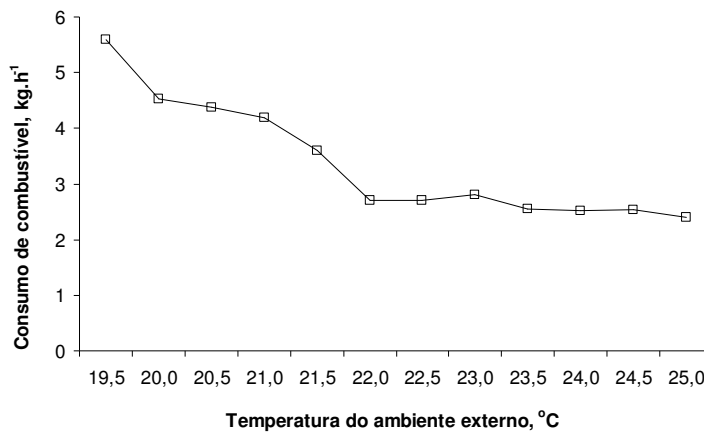


Observa-se, ainda, que as temperaturas no ambiente aquecido por campânulas, nos dois pontos “Centro Campânula e Campânula”, sofreram maiores influências do ambiente externo, “Ambiente Externo”, o qual apresentou temperatura média mínima de 9 °C e média máxima de 24 °C.

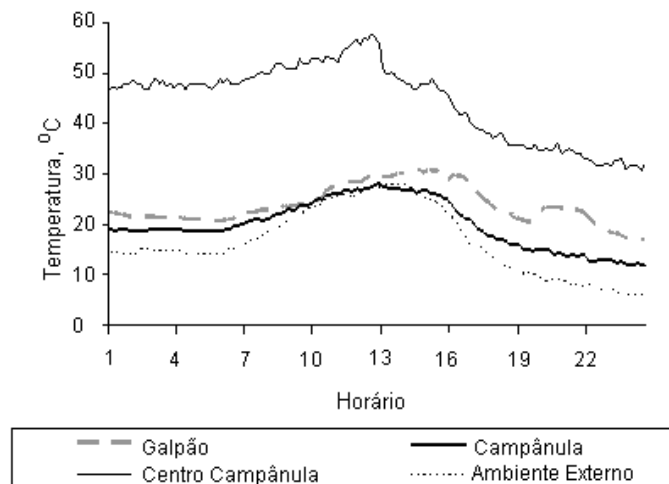
Portanto, a temperatura no interior do módulo aquecido via sistema de fornalha “Galpão” possibilitou menores amplitudes entre os extremos térmicos registrados nos diferentes ambientes, tendo, a temperatura média, no interior do galpão aquecido pela fornalha, “Galpão”, variado entre 20 e 31 °C, durante todo o período de condução do experimento.

Esta menor variação na temperatura no interior do aviário é extremamente necessária para que as aves não sofram estresse térmico e possam desenvolver todo seu potencial produtivo, principalmente, nas primeiras duas semanas de vida em que o aquecimento é necessário.

O controle da temperatura, assegurando pouca variação durante todo o tempo de funcionamento, reduziu a formação de fumaça, tornando o ar fornecido para o interior do aviário de boa qualidade por estar encontrar-se desse resíduo.



**Figura 3.** Consumo do carvão em função da temperatura do ar no ambiente externo



**Figura 4.** Temperatura média do ar no ambiente externo, no interior do galpão aquecido via fornalha, no centro e no interior do círculo de proteção no sistema aquecido via campânula.

## CONCLUSÕES

- As dimensões adotadas para a grelha da fornalha foram suficientes para proporcionar a queima de carvão vegetal e liberar a energia necessária à manutenção da temperatura no interior do galpão na faixa de conforto térmico para as aves, durante os primeiros 15 dias de vida.
- Houve melhor distribuição de calor e menores amplitudes térmicas ao longo do período de estudo, sendo que o sistema de fornalha desenvolvido foi mais indicado do que o tradicional de campânulas.
- A fornalha apresentou um consumo estável do combustível “carvão”
- de  $2,7 \text{ kg.h}^{-1}$  a partir da temperatura do ar no ambiente externo de  $25^\circ \text{ C}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINO, L.F.T. **Frango de corte; manual prático de manejo e produção**. Viçosa: Aprenda Fácil, 1998. 72 p.:il.
- ANDRADE, E.B. **Combustíveis e fornalhas**. Viçosa: CENTREINAR, 1982. 68p.
- ANDRADE, E.B.; SASSERON, J.L.; OLIVEIRA FILHO, D. **Princípios sobre combustíveis, combustão e fornalhas**. Viçosa: CENTREINAR, 1984. 39p.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: Avi Publ. Co., 1969. 325p.
- GOMES, R.A.R. **Avaliação do desempenho de uma fornalha a lenha fluxo descendente e com sistema de aquecimento direto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- LOPES, R.P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto de ar**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 220p. (Tese de doutorado).
- LORA, E.S.; HAPP, J.F. Classificação e balanço térmico das fornalhas para a combustão de biomassa. In: Cortez, L.A.B.; Lora, E.S. **Tecnologias de conversão energética da biomassa**. Manaus: EDUA/EFEI, 1997. p.91-132.
- MIDWEST PLAN SERVICE. **Structures and environment handbook (MWPS-1)**. Iowa State University. MWPS, 1980. 253p.
- NUBER, F. Cálculo térmico de caldeiras e fornalhas. In: **Manual do engenheiro**. Porto Alegre: Editora Globo, 1975, v.7, tomo II, p.588-824.
- OLIVEIRA FILHO, D. **Aquecimento de ar**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1987. 16p.
- PINTO, F.A.C.; MELO, E.C.; SILVA, J.S. Programa para dimensionamento de fornalhas a fogo direto e fluxos descendentes. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa: v.1, n.1, 1992. 12p.
- SILVA, J.S.; GOMES, R.A.R.; HARA, T. et al. Estudo de uma fornalha para secagem de grãos com aquecimento direto. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa: v.1, n.2, 1991. 15p.
- SILVA, R.G. (eds). **Introdução a bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.
- UBA – UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. [www.uba.com.br](http://www.uba.com.br). 05 fev. 2006.