**FÁBIO LUIZ ZANATTA**

# GASEIFICADOR DE BIOMASSA NO AQUECIMENTO DE AVIÁRIOS E SUA RELAÇÃO COM CONFORTO TÉRMICO, QUALIDADE DO AR E DESEMPENHO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA**

**MINAS GERAIS – BRASIL**

**2007**

# Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T
Z27g
2007

Zanatta, Fábio Luiz, 1981-
Gaseificador de biomassa no aquecimento de aviários e sua relação com conforto térmico, qualidade do ar e desempenho produtivo de frangos de corte / Fábio Luiz Zanatta. – Viçosa, MG, 2007.
xviii, 111f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.
Orientador: Jadir Nogueira da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 97-105.

1. Construções rurais - Aquecimento e ventilação. 2. Gaseificadores. 3. Energia da biomassa. 4. Ar - Controle de qualidade. 5. Frango de corte - Fatores climáticos. 6. Frango de corte - Registros de desempenho. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 636.0831

**FÁBIO LUIZ ZANATTA**

# GASEIFICADOR DE BIOMASSA NO AQUECIMENTO DE AVIÁRIOS E SUA RELAÇÃO COM CONFORTO TÉRMICO, QUALIDADE DO AR E DESEMPENHO PRODUTIVO DE FRANGOS DE CORTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2007.

| | |
|---|---|
| Profª. Ilda de F. Ferreira Tinôco<br>(Co-Orientadora) | Prof. Fernando da Costa Baêta |
| Prof. Tadayuki Yanagi Junior | Dr. Williams P. Marques Ferreira |

Prof. Jadir Nogueira da Silva
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À DEUS.

À Universidade Federal de Viçosa – UFV, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, bem como a todos os funcionários que nos acolhem com amizade e boa vontade.

À coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À empresa Nogueira Rivelli Ltda., seus proprietários e seus administradores, em especial ao Carlos, Marquinhos, Bruno e Elen, pela oportunidade, apoio e acolhimento. Aos funcionários e à todos os técnicos agrícolas do fomento, pelo apoio despendido.

Ao professor Jadir Nogueira da Silva, pela orientação, ensinamentos, exemplo e confiança. Em especial a professora e conselheira Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pelo incentivo nos momentos difíceis, pelos sábios e valiosos ensinamentos, pela amizade e confiança.

Aos professores Cecília de Fátima Souza, Delly Oliveira Filho, pelo apoio e pelas sábias e oportunas sugestões.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela ajuda com as análises estatísticas.

Aos amigos Samuel, Adeliano, Lucas, Mateus e Beno, presentes em todos os momentos, pela ajuda constante, amizade, pelas sábias palavras de conforto e principalmente pelo convívio amigo.

À Daniela, sempre presente nos bons e nos difíceis momentos, agradeço pelo carinho, convivência, paciência e principalmente compreensão.

Aos amigos da área do Armazenamento e do núcleo de estudos do Ambiagro, sempre presentes, agradeço pela excelente companhia, amizade e apoio.

E a todos aqueles que desde o princípio vem contribuindo de alguma forma para a realização de meus objetivos, a todos muito obrigado.

## BIOGRAFIA

FÁBIO LUIZ ZANATTA, filho de Luiz Valdir Zanatta e Ivanira Zanatta, nasceu em 12/09/1981, na cidade de Tapejara, Estado do Rio Grande do Sul.

Em março de 2000, ingressou no Curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Pelotas – UFPel, com término em março de 2005, mesmo período em que iniciou o curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa - UFV, MG, com concentração na área de Armazenamento, sendo posteriormente transferido para a área de Construções Rurais e Ambiência.

## CONTEÚDO

Página

**LISTA DE QUADROS ..... ix**

**LISTA DE FIGURAS ..... xii**

**RESUMO ..... xv**

**ABSTRACT ..... xvii**

**1. INTRODUÇÃO ..... 1**

**2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 4**

2.1. Situação atual da avicultura de corte ..... 4

2.2. Conforto térmico das aves ..... 5

2.3. Desempenho produtivo das aves ..... 7

2.4. Índices de ambiente térmico ..... 8

Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ..... 8
Carga térmica radiante (CTR) ..... 10
Umidade relativa do ar (UR) ..... 11
2.5. Qualidade do ar ..... 11

Amônia (NH3) ..... 12
Dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO) ..... 13
2.6. Sistemas de aquecimento de galpões avícolas ..... 15

2.6.1. Aquecimento à gás ..... 16
2.6.2. Aquecimento elétrico ..... 17
2.6.3. Piso aquecido ..... 18
2.6.4. Aquecimento com combustíveis alternativos ..... 18
2.6.5. Aquecimento a lenha ..... 19

2.7. A biomassa como fonte alternativa de energia ..... 20

2.8. A lenha como combustível ..... 21

2.8.1. Composição elementar imediata ..... 22
2.8.2. Poder calorífico ..... 24
2.8.3. Granulometria ..... 26
2.8.4. Massa específica ..... 26
2.8.5. Ar estequiométrico ou teórico ..... 26
2.9. Fornalhas ..... 28

2.10. Gaseificação de biomassa ..... 30

2.10.1. Fundamentos ..... 30
2.10.2. Usos ..... 30
2.10.3. Vantagens da gaseificação ..... 31
2.10.4. Combustível ..... 31
2.11. Gases produzidos pela combustão incompleta ..... 31

**3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 33**

3.1. O experimento ..... 33

3.2. Características dos galpões ..... 33

3.3. Manejo das aves ..... 34

3.4. Sistemas de aquecimento ..... 36

3.4.1. Sistema de Fornalha ..... 36
3.4.2. Sistema gaseificador/combustor ..... 37
3.4.2.1. Projeto e Cálculo ..... 38
3.4.2.2. Construção do sistema gerador de calor ..... 38
Construção do reator ..... 38
Construção do combustor ..... 40
Sistema de ventilação ..... 41
3.4.2.3. Funcionamento e Operação do sistema ..... 42
Abastecimento ..... 42
Regulagens e ignição ..... 42
3.5. Sistema de distribuição de ar aquecido pela fornalha ..... 42

3.6. Características do combustível ..... 43

3.6.1. Composição elementar ..... 43
3.6.2. Poder calorífico ..... 44
3.6.3. Granulometria e massa ..... 44
3.7. Calor necessário para o aquecimento do aviário ..... 45

3.8. Instrumentos e medições ..... 46

3.8.1. Condições do ambiente térmico ..... 46
3.8.1.1. Interior dos galpões ..... 47
Temperatura de globo negro (Tgn) ..... 47
Temperatura de bulbo seco (Tbs) e temperatura de bulbo úmido (Tbu) ..... 47
Velocidade do ar ..... 47
Temperatura máxima e mínima ..... 48
3.8.1.2 Exterior dos galpões ..... 48
3.8.2. Qualidade do ar no interior dos galpões ..... 49
3.9. Desempenho produtivo das aves ..... 49

3.10. Análise estatística ..... 50

**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 51**

4.1. Propriedades avaliadas do combustível ..... 51

4.1.1. Umidade ..... 51
4.1.2. Poder calorífico ..... 52
4.1.3. Granulometria e massa específica ..... 52
4.1.4. Consumo de lenha para o aquecimento ..... 53
4.1.5. Consumo de energia ..... 54
4.2. Avaliação dos índices de conforto térmico ambiente ..... 55

4.2.1. Primeira semana de vida das aves ..... 55
4.2.1.1. Temperatura de bulbo seco (TBS) ..... 58
4.2.1.2. Umidade relativa do ar (UR) ..... 60
4.2.1.3. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ..... 61
4.2.1.4. Carga térmica radiante (CTR) ..... 63
4.2.2. Segunda semana de vida das aves ..... 64
4.2.2.1. Temperatura de bulbo seco (TBS) ..... 66
4.2.2.2. Umidade relativa (UR) ..... 67
4.2.2.3. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ..... 69
4.2.2.4. Carga térmica radiante (CTR) ..... 70
4.2.3. Terceira semana de vida das aves ..... 71
4.2.3.1. Temperatura de bulbo seco (TBS) ..... 74
4.2.3.2.Umidade relativa (UR) ..... 75
4.2.3.3.Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) ..... 76
4.2.3.4. Carga térmica radiante (CTR) ..... 78
4.3. Avaliação da qualidade do ar ..... 79

4.3.1. Primeira fase de desenvolvimento ..... 79
4.3.1.1. Monóxido de carbono (CO) ..... 80
4.3.1.2. Dióxido de carbono (CO2) ..... 81
4.3.1.3. Amônia (NH3) ..... 83
4.3.2. Segunda semana de vida das aves ..... 84
4.3.2.1. Monóxido de carbono (CO) ..... 85
4.3.2.2. Dióxido de carbono ($CO_2$) ..... 86
4.3.2.3. Amônia ($NH_3$) ..... 87
4.3.3. Terceira semana de vida das aves ..... 88

4.3.3.1. Monóxido de carbono (CO) ..... 89
4.3.3.2. Dióxido de carbono ($CO_2$) ..... 91
4.3.3.3. Amônia ($NH_3$) ..... 92
4.4. Avaliação do desempenho das aves ..... 93

**5. CONCLUSÕES.....95**

**6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....97**

**7. ANEXOS.....106**

## LISTA DE QUADROS


| | | Página |
|---|---|---|
| 01 | Temperatura ambiente ideal para a criação de aves..... | 06 |
| 02 | Composição elementar da biomassa, em % (base seca)..... | 22 |
| 03 | Composição imediata da biomassa, em % (base seca)..... | 23 |
| 04 | Poder calorífico da biomassa, em $kJ.kg^{-1}$ (base seca)..... | 24 |
| 05 | Tamanho do pinteiro e densidade conforme a idade das aves... | 34 |
| 06 | Manejo da temperatura adotado pela empresa no interior dos galpões..... | 34 |
| 07 | Umidade percentual (base úmida) da lenha usada nos testes... | 50 |
| 08 | Massa de lenha consumida diariamente no aquecimento feito com o sistema de gaseificação..... | 52 |
| 09 | Consumo de energia para os dois tratamentos..... | 53 |
| 10 | Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por fornalha (Fornalha) e por gaseificador (Gaseificador) e dos horários de observação, em relação a temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em galpões avícolas, com coeficiente de variação (CV), para a primeira semana de vida das aves..... | 56 |
| 11 | Valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em aviários submetidos a dois tipos de aquecimento estudados, Fornalha e Gaseificador, para a primeira semana de vida das aves..... | 57 |

12 Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por fornalha e por gaseificador e dos horários de observação, em relação a temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em galpões avícolas, com o coeficiente de variação (CV) em galpões avícolas, para a segunda semana de vida das aves..... 66

13 Valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em aviários submetidos a dois tipos de aquecimento estudados, Fornalha e Gaseificador, para a segunda semana de vida das aves..... 67

14 Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por fornalha (Fornalha) e por gaseificador (Gaseificador) e dos horários de observação, em relação a temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a terceira semana de vida das aves..... 75

15 Valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em aviários submetidos a dois tipos de aquecimento estudados, Fornalha e Gaseificador, para a terceira semana de vida das aves..... 76

16 Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha), em relação aos horários de observação, para a concentração de gases de amônia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a primeira semana de vida das aves..... 83

17 Valores médios de concentração de amônia ($NH_3$), dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para os sistemas de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha) nos horários de observação, em galpões avícolas, para a primeira semana de vida das aves..... 83

18 Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha), em relação aos horários de observação, a concentração de gases de amônia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a segunda semana de vida

das aves..... 90

19 Valores médios de concentração de amônia ($NH_3$), dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para os sistemas de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha) nos horários de observação, em galpões avícolas, para a segunda semana de vida das aves, no mês de junho de 2006..... 90

20 Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por gaseificador (GASEIFICADOR) e por fornalha (FORNALHA), em relação aos horários de observação, para a concentração de gases de amônia (NH3), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a terceira semana de vida das aves..... 95

21 Valores médios de concentração de amônia ($NH_3$), dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para os sistemas de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha) nos horários de observação, em galpões avícolas, para a terceira semana de vida das aves, no mês de junho de 2006..... 95

22 Dados sobre o experimento e o desempenho das aves no período estudado..... 100

## LISTA DE FIGURAS


| | | Página |
|---|---|---|
| 01 | Esquema da distribuição de ar quente e controle dos orifícios para a regulagem da distribuição do ar..... | 33 |
| 02 | Fornalha existente na granja modelo D 200..... | 36 |
| 03 | Gaseificador/combustor construído para funcionar como aquecedor da granja..... | 36 |
| 04 | Fases da construção do gaseificador. a – construção da base; b – reator; c – trocador de calor e; d – vista após montagem..... | 38 |
| 05 | Câmara de combustão em construção..... | 39 |
| 06 | Câmara de combustão..... | 40 |
| 07 | Distribuição de ar nos galpões..... | 42 |
| 08 | Combustível (lenha de eucalipto) proveniente de reflorestamento da empresa (NR Alimentos) usado no gaseificador para o aquecimento do aviário..... | 44 |
| 09 | Lenha consumida em cada um dos tratamentos (Gaseificador e Fornalha) durante o período experimental, 21 dias, utilizando gaseificador e fornalha..... | 54 |
| 10 | Médias de temperatura do ar no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves..... | 58 |
| 11 | Médias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de | |

vida das aves..... 60

12 Médias dos índices de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves..... 62

13 Médias da carga térmica de radiação (CTR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves..... 63

14 Médias de temperatura do ar no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves..... 66

15 Médias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves..... 68

16 Médias dos índices de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves..... 69

17 Médias da carga térmica de radiação (CTR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves..... 71

18 Médias de temperatura do ar no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves..... 74

19 Médias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana de vida das aves..... 75

20 Médias dos índices de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana de vida das aves..... 77

21 Médias da carga térmica de radiação (CTR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana

de vida das aves..... 78

22 Concentração de CO para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves..... 81

23 Concentração de $CO_2$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves..... 82

24 Concentração de $NH_3$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves..... 83

25 Concentração de CO para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira fase de desenvolvimento das aves..... 86

26 Concentração de $CO_2$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a segunda semana de vida das aves..... 87

27 Concentração de $NH_3$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a segunda semana de vida das aves..... 88

28 Concentração de CO para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves..... 90

29 Concentração de $CO_2$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves..... 92

30 Concentração de $NH_3$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves..... 93

31A Vista lateral e superior do gaseificador construído na granja..... 107

32A Vista superior do gaseificador com cortes acima do cinzeiro..... 108

33A Corte A-B do gaseificador com distâncias..... 109

34A Corte C-D do gaseificador..... 109

35A Corte E-F do gaseificador (base antes da instalação da grelha)... 110

36A Corte G-H do gaseificador (base após a instalação da grelha) 110

## RESUMO

ZANATTA, Fábio Luiz, M.Sc.,Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2006. **Gaseificador de biomassa no aquecimento de aviários e sua relação com o conforto térmico, qualidade do ar e desempenho produtivo de frangos de corte.** Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Co-Orientadores: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Delly Oliveira Filho e Cecília de Fátima Souza.

Atualmente, o Brasil é terceiro maior produtor mundial de carne de frango, sendo que em 2007 deverá apresentar um crescimento de 6,1% nas exportações. De modo a otimizar o desempenho produtivo no setor avícola, faz-se necessário a adequação do ambiente de criação das aves, com técnicas que atendam as questões térmicas e higiênicas do ambiente de criação, e que consumam menos energia. Quanto a questão higiênica, a qualidade do ar e o nível de emissão de gases pela atividade de produção animal, tem sido estudado no mundo inteiro, em função dos problemas com o meio ambiente, aquecimento global, bem estar animal e saúde das pessoas envolvidas no processo de produção. Tendo em vista o exposto, o trabalho objetivou avaliar o efeito de dois diferentes sistemas de aquecimento de galpões avícolas, sendo um convencional com fornalha a lenha existente no local nos aviários onde se instalou o experimento (Fornalha) e o outro com um gaseificador/combustor de biomassa (Gaseificador), quanto ao conforto térmico, qualidade do ar e desempenho produtivo de frangos de corte, visando minimizar custos com o aquecimento. A pesquisa foi realizada em dois galpões comerciais, em Barbacena-MG, no mês de junho de 2006, utilizando-se frangos de corte, da linhagem Hybron,

na fase de aquecimento, com o mesmo manejo em todas as instalações. O conforto térmico foi avaliado pela temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), os quais apresentaram diferença significativa entre os sistemas de aquecimento ($P<0,05$), sendo maiores para o tratamento com gaseificador. A qualidade do ar foi avaliada por meio da concentração (ppm) de monóxido de carbono ($CO_2$), dióxido de carbono (CO) e amônia ($NH_3$). As medições foram realizadas a cada duas horas na primeira semana do experimento e a cada três horas na segunda e terceira semanas, durante as 24 horas do dia. O desempenho produtivo das aves foi avaliado pelo ganho de peso (GP), peso médio (PM), consumo de ração (CM), conversão alimentar (CA) e mortalidade (M). Os valores de médios de CO e $CO_2$ e $NH_3$ diferiram significativamente entre tratamentos ($P<0,05$), sendo as médias de CO e $CO_2$ maiores para o Gaseificador, com níveis próximos aos considerados como críticos, porém, não sendo observado nenhuma diferença entre tratamentos quanto ao desempenho produtivo das aves. As médias de $NH_3$ foram maiores para Fornalha, com os níveis bem abaixo dos valores considerados como críticos nas instalações, fixados pela União Européia. O consumo de lenha no Gaseificador foi 26% menor que na Fornalha. Com base em todas as observações realizadas anteriormente, pode-se supor que o sistema de aquecimento com gaseificador de biomassa atingiu seu propósito no aquecimento do ar ambiente numa instalação avícola, apresentando melhores resultados que a fornalha à lenha tradicional, no provimento de conforto térmico para as aves ali alojadas, nas três primeiras semanas de vida destas.

## ABSTRACT

ZANATTA, Fábio Luiz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february of 2006. **Biomass gasifier in heating poultry hangar and its relation with the thermal comfort, air quality and productive performance of broiler chickens.** Adviser: Jadir Nogueira da Silva. Co-Advisers: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Delly Oliveira Filho and Cecília de Fátima Souza.

Brazil is actually the third highest producer of the broiler chicken meat throughout the world. For 2007, it is foreseen it would show some 6.1% growth in the exports. To optimizing the productive performance in poultry sector, it is necessary to adapt the environment to poultry raising, by using techniques that satisfy the thermal and hygienic aspects of the raising environment, besides consuming less energy. Concerning to the hygienic aspect, the air quality and the level of gas emission by the animal production activity have been studied throughout the world, as a function of the problems related to the environment, global heating, animal well-being and the health of the people involved into the production process. So, this study was carried out to evaluate the effect from two different heating systems for poultry hangars. So, the conventional system with firewood furnace available in the aviary places where the experiment was set up (Furnace,) and a second one with a gasifier/biomass combustor (gasifier) were evaluated for the thermal comfort, air quality, and broiler chickens` productive performance in order to minimize the heating costs. The research was conducted in two commercial hangars at Barbacena county-MG, on June 2006. The Hybron-line broiler chickens were used at the heating phase, as well as the same

management in all facilities. The evaluation of the thermal comfort was based on the dry bulb temperature (TBS), air relative humidity (UR), the index of the black globe temperature and moisture (ITGU), and radiant thermal charge (CTR), which showed significant difference between the heating systems ($P < 0.05$), as being higher in the treatment with gasifier. The air quality air was evaluated through the concentration (ppm) of the carbon monoxide (CO), carbon dioxide ($CO_2$) and ammonia ($NH_3$). The measurements were accomplished every two hours at the first experimental week and every three hours at the second and third weeks, during all 24 hours of the day. The evaluation of the poultries´ productive performance were based on weight gains (GP), average weight (PM), ration consumption (CM), food conversion (CA) and mortality (M). The average values of CO, $CO_2$ and $NH_3$ rather significantly differed between the treatments ($P < 0.05$), with higher averages of CO and $CO_2$ for the gasifier, with levels close to those considered as critical ones. However, no differences concerning to the poultries´performance were observed between the treatments. The $NH_3$ averages were higher for the furnace, as being the levels considerably below those values considered as critical ones in the facilities, according to the European Union. The firewood consumption in the gasifier was 26% lower than in furnace. Based on the previous observations, it can be supposed that the heating system with biomass gasifier reached the purpose in heating the environmental air in the poultry facility, since its results were better than the traditional firewood furnace in providing thermal comfort to those poultries at the first three weeks of life.

# 1. INTRODUÇÃO

As novas exigências do mercado consumidor de produtos de origem animal quanto a questão ambiental, segurança alimentar e bem estar animal passam, invariavelmente, pelo conforto térmico do ambiente de criação, por ser este fator o que afeta mais diretamente o desempenho das aves, conforme observado por TINÔCO (1988).

No Brasil, segundo estudo do Ministério da Agricultura sobre as tendências do setor agropecuário para os próximos dez anos, haverá uma expansão de 44,7% na produção de carnes, sendo que o aumento relativo mais expressivo se dará na carne de frango (BRASIL, 2007).

Em escala mundial, a produção de frangos de corte foi a atividade agropecuária que mais cresceu nas últimas décadas, sendo que no Brasil especificamente a produção saltou de 2,4 milhões de toneladas em 1990 para 8,5 milhões de toneladas em 2006 (AVISITE, 2006b). Dessa forma, estima-se que o crescimento da avicultura brasileira continue intenso, assim como a responsabilidade frente às questões de sustentabilidade da produção, com foco nos aspectos sociais, na preservação ambiental, no bem estar animal, na segurança alimentar e na qualidade do produto que chega à mesa do consumidor (BELLAVER, 2003).

Segundo MACHADO (1994), no inverno, em muitas regiões brasileiras, enfrentam-se dificuldades para manter a temperatura ideal do ambiente de conforto para os pintos. Isso normalmente ocorre devido à grande diferença entre a temperatura do ar externa ao aviário e aquela ideal para os pintos, bem como o seu satisfatório controle.

Segundo Ostrander (1980) citado por SANTOS e LUCAS JUNIOR (2004), a indústria avícola tem melhorado sua eficiência, tornando-se uma

das mais eficientes conversoras de energia da dieta em proteína entre os sistemas de produção animal. Contudo, sistemas de produção de frangos de corte são os menos eficientes na utilização de energia, considerando-se as entradas e saídas da mesma no ambiente de criação.

De toda a energia envolvida no processo de produção de frangos de corte, dentro do galpão, 78,2% diz respeito à energia que entra no sistema, ao passo que a energia de saída corresponde a 21,8%, resultando em um coeficiente de eficiência energética de 0,28 (28%) (SANTOS e LUCAS JUNIOR, 2004).

Nos primeiros dias de vida o sistema termorregulador das aves ainda não está totalmente desenvolvido. Por esse motivo, no período frio, a maior preocupação do produtor é a de dar condições ambientais necessárias de conforto para que os pintainhos mantenham a temperatura corporal ideal. De toda a energia ingerida, 80% é utilizada para a manutenção da homeotermia e apenas 20% é utilizada para a produção. Dessa forma, faz-se o aquecimento até a segunda ou terceira semana de vida das aves dependendo das condições climáticas, utilizando nesse processo eletricidade, gás liquefeito de petróleo (GLP), carvão vegetal e principalmente lenha (ABREU, 2003).

Quanto ao uso de carvão vegetal, FERREIRA (2004), avaliando uma fornalha a carvão vegetal para o aquecimento de aviário, encontrou uma economia de 50% em relação a campânula elétrica.

Segundo ABREU (2003), no aquecimento com lenha, gasta-se 1 $m^3$ $dia^{-1}$ para aquecer um galpão com 100 m de comprimento, podendo o consumo ser ainda maior no caso de sistemas mal dimensionados ou com defeitos. Se for usado GLP, o consumo é de 3 botijões de 13 kg a cada 1000 aves para o período de aquecimento (ABREU e ABREU, 2002), e considerando que em um aviário de 100 m de comprimento onde são alojadas em torno de 18.000 aves, são gastos 54 botijões, sendo que isso gera um custo superior ao dobro do que é gasto no caso da lenha, somente com a energia do aquecimento.

Com isso, é urgente e necessário desenvolver e difundir alternativas energéticas mais eficientes para aquecimento de ar, quer seja para aviários ou outros fins. Neste contexto a gaseificação, com combustão adjacente do

gás produzido, surge com forte potencial. Entretanto, apesar dos avanços desenvolvidos até a presente data, percebe-se ainda carência de estudos sobre tecnologias de gaseificação da biomassa com combustão imediata do gás produzido, visando a geração de calor. Esta tecnologia pode vir a ser uma nova alternativa aos avicultores para o aquecimento de aviários, justificando investigações neste campo do conhecimento.

Tendo em vista o exposto, objetivou-se neste trabalho testar um sistema de aquecimento para aviários, utilizando-se um reator para gaseificação de biomassa (lenha de eucalipto) acoplado a um combustor do gás produzido, assim como comparar sua performance com a de fornalhas a lenha convencionais (fornalhas de chapas metálicas de princípio de aquecimento indireto) no que diz respeito ao conforto térmico ambiente das aves, a qualidade do ar e o desempenho produtivo de frangos de corte criados em alta densidade de alojamento, visando condições de bem estar animal.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1. Situação atual da avicultura de corte

Com os temores em relação a doença de Newcastle e Influenza Aviária no inicio de 2006, a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) aponta que as carnes avícolas terão, em 2006, uma expansão de apenas 1% em relação a 2005 mas prevê que no próximo ano, 2007, essa expansão poderá chegar aos 2,9%. O comércio internacional, por sua vez, deve registrar reversão em relação a 2006 e apresentar expansão que permitirá superar os volumes, até aqui recordes, alcançados em 2005. Dessa forma, após uma retração próxima de 2,4% no ano de 2006, o comércio mundial de carne de frango deve apresentar incremento de 6,1% em 2007. Já o consumo per capita de carnes continuará crescente, como em 2006, tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. De toda forma, estes últimos permanecem com um consumo inferior à média mundial, de pouco mais de 40 quilos per capita (AVISITE, 2006).

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e a FAO parecem concordar que em 2007 haverá expansão de embarques das três principais carnes exportadas pelo Brasil e o volume (estimado neste ano entre 5,0 e 5,1 milhões de toneladas) deve ficar entre 5,2 e 5,5 milhões de toneladas. Segundo o USDA, as exportações de aves devem chegar a 2,7 milhões de toneladas com aumento de 2,15% em relação a 2006. Da mesma forma, a FAO estima que as exportações cheguem a 3 milhões de toneladas com aumento de 7,14% em relação a 2006 (AVISITE, 2006c).

Segundo TURRA (2006), para a moderna avicultura brasileira, a exportação é como o alicerce de uma casa, uma vez que é baseada neste parâmetro que esta atividade se sustenta e abriga todas as condições para atender ao mercado interno. Ademais, é no mercado externo que se obtém os melhores preços e rentabilidade. Com isso veio a competitividade, fazendo com que as margens de lucro se tornassem pequenas, obrigando a modernização das instalações e processos, dando-se atenção a todas as etapas da produção e processamento das aves, bem ao contrário do que acontecia antigamente, quando o produtor não sentia no bolso as perdas com a baixa a produtividade e pouca atenção era dirigida ao conforto térmico das aves e também aos custos energéticos para aquecimento dos aviários.

## 2.2. Conforto térmico das aves

Segundo SILVA (2000), o ambiente pode ser resumido como sendo o conjunto de tudo o que afeta a constituição, o comportamento e a evolução de um organismo, o qual será sempre conseqüência do ambiente em que vive. Os principais fatores do ambiente causadores de efeitos sobre a produção animal são: temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e vento, que constituem o ambiente térmico animal, deve-se, pois, ao projetar-se a instalação, buscar amenizar seus efeitos extremos.

A caracterização do ambiente térmico animal pode ser feita por meio de uma única variável, chamada de temperatura efetiva. Para determinada faixa de temperatura efetiva ambiental, o animal mantém constante a temperatura corporal, com o mínimo de esforço dos mecanismos termorregulatórios. É a chamada zona de conforto térmico ou de termoneutralidade, em que não há a sensação de frio ou calor e o desempenho do animal em qualquer atividade pode ser otimizado (BAETA e SOUZA, 1997).

Para NÃAS (1994) o conceito de conforto térmico é muito amplo e está diretamente relacionado com o microclima produzido no interior da instalação, que é naturalmente influenciado pelas condições climáticas externas, sendo que estas variam com a localização de determinada região.

Como as variáveis ambientais não são estáticas, as instalações não devem ser iguais para regiões diferentes.

Entretanto, segundo BAÊTA e SOUZA (1997), o ambiente interno de uma instalação é dependente das características construtivas, dos materiais da instalação, da espécie, número de animais, manejo e das modificações causadas pelos equipamentos do sistema produtivo e por aqueles que visam o acondicionamento ambiental. Visando atender as necessidades microambientais dos animais de forma a que os mesmos possam expressar seu máximo desempenho produtivo, pode-se realizar modificações ambientais primárias e secundárias. As modificações primárias incluem proteção contra a exposição direta aos raios solares, quebra ventos, proteção contra chuva, dentre outros, enquanto as modificações secundárias correspondem ao manejo do microambiente interno, compreendendo processos artificiais de ventilação, aquecimento e refrigeração, isolados ou conjugados.

A característica mais utilizada por pesquisadores na determinação da zona de termoneutralidade das aves de corte, é a idade das mesmas. Com o desenvolvimento do sistema termorregulador e o aumento de sua reserva energética, a ave modifica sua exigência de temperatura crítica superior de 35 °C para 26 °C em quatro semanas, chegando a 23 °C na quinta semana de vida, Quadro 01.

Quadro 01: Temperatura ambiente ideal para a criação de aves

| **Idade** | **Faixa de temperatura (ºC)** |
|---|---|
| 1ª semana | 35 – 32 |
| 2ª semana | 32 – 29 |
| 3ª semana | 29 – 26 |
| 4ª semana | 26 – 23 |
| 5ª semana | 23 – 19 |

Adaptado de ABREU (2003), CURTIS (1983), MACARI, FURLAN e GONZALES, 2002

Segundo TINÔCO (2003), para manter a competitividade e atender a crescente demanda de consumo do produto, torna-se imperativo o aumento da produção da carne de frango, como mínimo de investimento em

construção e a maximização dos custos fixos como: mão de obra, equipamentos, infra-estrutura de apoio e transportes. Dessa forma, enquanto a realidade atual aponta para uma média brasileira de 11 a 13 aves $m^{-2}$, com modificações ambientais satisfatórias, pode-se chegar até 15 a 18 aves $m^{-2}$ (no caso de alojamentos termicamente menos favoráveis que o ideal ou providos de equipamentos e comedouros mais simples), até mesmo a 18 a 22 aves $m^{-2}$ (no caso de galpões termicamente confortáveis e providos de comedouros e bebedouros automáticos).

A alta densidade também pode ser entendida como a obtenção de mais carne de aves por unidade de área construída, podendo-se chegar, ao final da produção, com até kg $m^{-2}$. A comunidade européia contudo, tem estipulado uma quantidade máxima de 30 kg $m^{-2}$ de carne como exigência a importação do produto, o que tem limitado o aumento da densidade avícola brasileira para patamares compatíveis aos mencionados. Valores superiores a 30 kg $m^{-2}$ de carne, já são considerados alta densidade.

Do ponto de vista de ambiência, entretanto, deve-se observar que maior número de aves alojadas por área de galpão significa, também, maior dissipação de calor (das próprias aves) por m² de alojamento, o que poderá gerar sobreaquecimento do ambiente em níveis incompatíveis com o bom desempenho animal. Assim, a criação de frangos de corte em alta densidade deve, garantir boas condições de ambiente térmico

## 2.3. Desempenho produtivo das aves

O desempenho produtivo das aves pode ser avaliado utilizando-se os seguintes índices zootécnicos (ENGLERT, 1987), (ALBINO, 1998) e (ABREU et al., 2000).

- Ganho de peso (GP): obtido pela diferença entre o peso vivo das aves ao final e ao início de um período de tempo considerado;
- Consumo de ração (CR): quantidade de ração consumida durante o período considerado;
- Conversão alimentar (CA): relação entre a quantidade de ração consumida e o ganho de peso correspondente ao período de

tempo considerado; a relação inversa denomina-se eficiência alimentar.

- Mortalidade: percentagem dos animais mortos durante o período do ciclo produtivo considerado;

## 2.4. Índices de ambiente térmico

Segundo MACARI, FURLAN e GONZALES (2002), o ambiente pode ser definido como a soma dos impactos dos circundantes biológicos e físicos e constitui-se em um dos responsáveis pelo sucesso ou fracasso do empreendimento avícola.

Para BAÊTA e SOUZA (1997), o ambiente externo animal compreende todos os fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e climáticos que interagem com o animal e produzem reações no seu comportamento, definindo assim, o tipo de relação animal-ambiente.

Para McDOWELL (1975), a temperatura do ar, possivelmente, é um dos fatores bioclimáticos que mais podem influenciar o ambiente físico animal. Porém, para se ter uma avaliação mais completa do ambiente térmico ao qual o animal está sujeito, deve-se utilizar índices mais completos, destacando-se o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR) e até mesmo valores de umidade relativa do ar (UR).

### Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Segundo BUFFINGTON et al. (1981), o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) considera, em um único valor, os efeitos da temperatura do ar, da umidade relativa, da radiação e da velocidade do ar. Este índice é usado para avaliar as condições de conforto animal e pode ser representado pela Equação 1.

$$ITGU = Tgn + 0,36Tpo – 330,08 \quad (1)$$

em que

ITGU = Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade, adimensional;

Tgn = temperatura de globo negro, K;

Tpo = temperatura de ponto de orvalho, K.

A temperatura de globo negro é obtida a partir de uma esfera de cobre oca, com 0,15 m de diâmetro e 0,0005 m de espessura, pintada externamente com tinta preta fosca, contendo um elemento sensor de temperatura em seu centro. TINOCO (1988) pesquisando resfriamento adiabático evaporativo na produção de frangos de corte, na região de Uberaba-MG, verificou que valores de ITGU superiores a 75,0 causam desconforto as aves acima dos 15 dias de vida, sendo que a situação de estresse se agrava à medida que as aves se desenvolvem.

PIASENTIN (1984) pesquisando índices de conforto para dois tipos de pisos suspensos na região de Viçosa-MG observou que valores de ITGU variando entre 65,0 e 77,0 para o período de quatro a sete semanas não influenciaram na produção das aves. SILVA (2002) pesquisando tipos de painéis evaporativos utilizados em galpões avícolas com sistema de resfriamento adiabático do ar verificou que valores de ITGU acima de 79,2 indicam que aves adultas estão em condições de desconforto por calor. TEIXEIRA (1983), pesquisando na região de Viçosa e Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, encontrou valores para ITGU de 78,5 e 86,1 para o período compreendido entre o 1° e o 14° dia de idade das aves, os quais mostraram-se mais adequados para melhor conversão alimentar e ganho de peso, respectivamente. Já os valores de 67,4 a 75,6, para a segunda fase de desenvolvimento (8 a 14 dias), representam aumento na ordem de 44% na conversão alimentar e redução de 30% no ganho de peso, caracterizando desconforto por frio. Para o período de 15 a 49 dias de idade das aves, os valores de ITGU varinado entre 65,0 e 77,0 não afetaram a produção das aves. ABREU (1994), encontrou valores ideais para ITGU, de 80,8, com temperatura de conforto de 35 °C para a primeira fase de desenvolvimento e 76,6, com temperatura de 32 °C, para a segunda fase.

**Carga térmica radiante (CTR)**

Este índice representa a incidência total de radiação proveniente de todo o ambiente circundante. De acordo com ESMAY (1982), a CTR pode ser expressa pela Equação 2.

$$CRT = \sigma (TRM^4) \quad (2)$$

em que

CTR = carga térmica radiante, em $W.m^{-2}$;

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$ $W.m^{-2}.K^{-4}$);

TRM = temperatura radiante média, em K.

Segundo BOND e KELLY (1955), a temperatura radiante média (TRM) é a temperatura ambiente de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra para eliminar o efeito da reflexão, com o qual o corpo (globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto a do ambiente atual considerado. A TRM podes ser calculada conforme Equação 3.

$$TRM = 100 \times \{[2,51 \times V^{1/2} \times (Tgn - Tbs)] + (Tgn/100)^4\}^{1/4} \quad (3)$$

em que

V = velocidade do ar, em $m\ s^{-1}$;

Tgn = temperatura de globo negro, em K;

Tbs = temperatura de bulbo seco (temperatura do ar), em K.

MORAES (2002) pesquisando sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte no sudoeste de Goiás, utilizou como parâmetro limite para conforto térmico para aves adultas, CTR com valores de até 450 W $m^{-2}$. ABREU (1994), quando trabalhou com diferentes sistemas de aquecimento, encontrou 477,14 W $m^{-2}$ como o melhor valor de CTR para a primeira fase de desenvolvimento, com aquecimento por lâmpadas infravermelhas, e 454,93 W $m^{-2}$ para a segunda fase, utilizando piso aquecido por resistências elétricas.

**Umidade relativa do ar (UR)**

A umidade relativa do ar (UR) é um fator que auxilia na determinação do conforto térmico do ambiente, sendo que quando atinge valores muito elevados pode afetar a produtividade avícola. Segundo BAIÃO (1995), o principal mecanismo de dissipação de calor pelas aves em temperaturas elevadas ocorre por evaporação via respiratória. Sendo assim, a capacidade da ave suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar. Além disso, a decomposição microbiana de ácido úrico que resulta em amônia e gás carbônico é favorecida pela alta umidade, e isto deve ser evitado.

A determinação da umidade relativa do ar pode ser feita continuamente com o uso de *dataloggers* (sistema automático de aquisição de dados) e por meio de psicrômetros.

A umidade dos galpões avícolas está presente não apenas no ar ambiente, mas também na cama, pois 70-80% do material fecal eliminado pelas aves é constituído de água, sendo que a quantidade excretada varia muito em função da quantidade e da natureza da ração ingerida. Assim, nas aves, entre 60-70% da água ingerida é eliminada na urina sendo que, em períodos quentes, esta percentagem aumenta ainda mais (MACARI, 1996; BAIÃO, 1995).

Segundo BAÊTA E SOUZA (1997) e TINÔCO (2001), a umidade relativa do ar recomendada deve permanecer entre 50 e 70%.

**2.5. Qualidade do ar**

O ar ambiente, é fonte de oxigênio para o metabolismo animal e, também, veículo de dissipação do excedente de calor, do vapor d'água, de gases provenientes dos animais e da decomposição de seus dejetos e de poeira. Estes fatores podem agir como poluentes alterando as características ideais do ar, implicando num aumento da susceptibilidade a

doenças respiratórias dos animais com conseqüente prejuízo no processo produtivo.

De uma forma geral, os efeitos dos gases originados da atividade animal podem ser divididos em dois grupos: primários e secundários. Os efeitos primários ocorrem no trato respiratório e na pele, áreas de contato direto com estes componentes. Já os efeitos secundários referem-se a reações sistêmicas causadas pela absorção e disseminação via corrente sanguínea (CURTIS,1983).

A quantificação da produção de gases nos sistemas agroindustriais tem sido hoje uma preocupação mundial, uma vez que estes podem afetar o meio ambiente, a saúde dos funcionários que trabalham nestes complexos produtivos e ainda diminuir o desempenho animal causando desconforto e doenças.

De acordo com MORISHITA (1991) citado por FERREIRA (2004), o confinamento dos animais em instalações fechadas aumenta o potencial de intoxicação destes por gases, sendo os principais deles a amônia (proveniente da decomposição do ácido úrico e fezes) e o monóxido de carbono (proveniente principalmente da combustão incompleta de combustíveis em aquecedores).

**Amônia (NH3)**

A amônia gerada em um aviário é um irritante primário do sistema respiratório das aves e pode ter efeitos metabólicos secundários, inclusive envenenamento. Segundo WHATES (1999), para a amônia, o limite máximo recomendado de exposição contínua dos animais nas instalações é de 20 ppm. A amônia tem como característica odor irritante que os humanos podem detectar em concentração de cerca 10 ppm ou em concentração mais baixa, sendo que o limite máximo para exposição, considerando 8 horas em média, é de 25 ppm. Já se o tempo de exposição for de 15 minutos esse limite passa a ser de 35 ppm. Sendo menos densa que o ar, a amônia se move facilmente ao longo da instalação. É um estressor crônico, mas sua concentração normalmente permanece abaixo de 30 ppm na presença de baixas taxas de ventilação. Freqüentemente ela alcança valores

iguais ou superiores a 50 ppm ao nível (altura) do animal durante períodos longos de operação com sistemas de ventilação natural. Irrita as membranas mucosas dos olhos e as passagens respiratórias; por conseguinte, lacrimejamento excessivo, respiração curta e descarga de muco nasal claro ou purulento são sintomas comuns de intoxicação por amônia aérea. Letargia (sono profundo, apatia) é outro sintoma (CURTIS, 1983).

A amônia é comumente encontrada na cama de aviários. O nitrogênio orgânico, proveniente de urina e fezes presentes na cama, em condição aeróbia, participa diretamente na fermentação das fezes, produzindo gases, entre os quais a amônia. VALENTINE (1964) demonstrou que aves expostas a concentrações de amônia entre 60 e 70 ppm reduziram seu crescimento e aumentaram a ingestão alimentar. De acordo com HELLICKSON e WALKER (1983) e CURTIS (1983), o desempenho de frangos de corte é reduzido até 15% quando a amônia está presente no ar em concentrações de 75 a 100 ppm, concentrações estas que as vezes são encontradas em instalações avícolas durante o tempo frio. JAENISCH (1998), recomenda níveis inferiores a 11 ppm de amônia no ambiente para evitar problemas de ascite na criação.

Com relação à tolerância humana, segundo NIOSH (2003), necessita-se levar em consideração o tempo de exposição, nos quais os limites seriam de 25 ppm, 35 ppm e 50 ppm, para os tempos de 15 h, 8 h e 5 min respectivamente.

**Dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO)**

O dióxido de carbono é um gás sem odor presente normalmente no ar numa concentração próxima a 300 ppm. O aumento de sua concentração em instalações para animais pode ser associado à deficiência na renovação do ar, pois o $CO_2$ é proveniente principalmente da respiração dos animais e de aquecedores onde ocorre combustão. Pode, também, ser liberado pela decomposição das excretas. O dióxido de carbono, assim como o metano ($CH_4$), causa efeitos secundários metabólicos e respiratórios. A presença de altos níveis desses gases reduz o conteúdo de oxigênio para níveis inferiores aos necessários a vida.

A concentrações de 50.000 ppm de gás carbônico no ambiente faz com que o animal passe a respirar mais rapidamente e mais profundamente, porém não tem nenhum outro efeito significativo. Em situações extremamente incomuns, nas quais o gás carbônico, que é mais denso que o ar, é aprisionado em alguma parte da instalação, os animais podem exibir ansiedade seguida de tonteira, coma e finalmente morte; isto ocorre quando a concentração excede 400.000 ppm (CURTIS, 1983).

Apesar da produção natural de gases por parte das aves presentes no interior do galpão, bem como do processo de combustão, provenientes de diferentes tipos de aquecedores utilizados no aquecimento do aviário, vários autores, entre eles MORISHITA (1991) e CURTIS (1983) citam que a taxa na qual o ar se renova, eliminando a concentração de gases tóxicos e evitando a proliferação de doenças, é conhecida como taxa de ventilação sanitária e é alcançada dentro dos limites da própria ventilação natural, necessitando raras vezes de ventilação artificial para que seja alcançada.

O monóxido de carbono é um gás venenoso e inodoro que normalmente surge em instalações de animais a partir de combustão incompleta de combustível, devido a falta ou ajuste irregular dos aquecedores, além de ventilação inadequada. Alguns sinais de intoxicação por monóxido de carbono são a letargia e os movimentos sem coordenação, até a coma e a morte. Coloração vermelha cereja brilhante do sangue, broncodilatação e lesões cerebrais não específicas são também muitas vezes observadas em intoxicação com este gás. Um dos principais efeitos da intoxicação por monóxido de carbono se dá pela dificuldade das moléculas carrearem oxigênio, uma vez que o carbono compete com o oxigênio nos locais de ligação de uma variedade de proteínas, dessa forma a intoxicação por monóxido de carbono conduz o animal à hipóxia (CURTIS, 1983).

O monóxido de carbono (CO) inalado acarreta a formação da carboxihemoglobina que diminui a capacidade de oxigenação do sangue, podendo causar diminuição na capacidade de estimar intervalos de tempo e diminuir os reflexos e a acuidade visual da pessoa exposta. Os oxidantes fotoquímicos estão associados à irritação dos olhos, à redução da

capacidade pulmonar e ao agravamento de doenças respiratórias, como a asma.

Segundo WHATES (1999), os limites máximos recomendados de exposição continua dos animais nas instalações são de 3.000 ppm para dióxido de carbono e 10 ppm para monóxido de carbono. Já para humanos, os limites máximos de concentração, considerando 8 horas de exposição, são de 5.000 ppm para $CO_2$ e 50 ppm para CO. Se o tempo de exposição for de 15 minutos esses valores passam a ser 15.000 ppm para $CO_2$ e 300 ppm para CO.

## 2.6. Sistemas de aquecimento de galpões avícolas

Aquecedores de diferentes formas foram criados como passar do tempo e são utilizadas pelos criadores com o objetivo de fornecer calor as aves nas primeiras semanas de vida e, com isso, propiciar o conforto térmico necessário ao bom desenvolvimento da criação, de modo que sejam, cada vez mais, eficientes e funcionais.

NORTH e BELL (1990) citados por FERREIRA (2004), definiram dois sistemas principais de aquecimento: o localizado e o centralizado. Segundo esses autores, o sistema de aquecimento localizado consiste de defletores individuais metálicos, portáteis, na forma de campânulas, destinados a direcionar e concentrar o fluxo do calor gerado para os pintainhos no interior de um círculo de proteção. Tais equipamentos são instalados acima do piso por meio de um cabo ou corda, de forma a permitir movimentação na vertical, de acordo com as necessidades térmicas das aves.

É um processo bastante eficiente em termos de economia de energia ou de gás, uma vez que o aquecimento é fornecido somente no local onde ficam as aves. A eficiência deste sistema pode ser melhorada com a utilização de estufas ou forros bem como com o uso de círculos de proteção, que têm a finalidade de proteger as aves de correntes de ar e demarcar a área de aquecimento (ABREU, 2003).

Já o aquecimento central baseia-se no aquecimento relativamente homogêneo de todo o volume do aviário. Esse processo é bastante utilizado

em aviários climatizados e em regiões muito frias para alcançar temperaturas adequadas (ABREU, 2003).

Segundo ESMINGER (1992) citado por FERREIRA (2004), o processo de aquecimento centralizado consiste de uma única unidade de aquecimento associada a um sistema de distribuição, isto é, tubos conduzindo ar ou água aquecida. Dessa forma, o custo de operação do sistema é mais baixo por cabeça e o risco de incêndio é menor.

### 2.6.1. Aquecimento à gás

O aquecedor a gás já foi muito utilizado por avicultores por ser de fácil manuseio, demandar pouca manutenção, e ter boa mobilidade, além de funcionar tanto com gás natural como com gás liquefeito de petróleo (GLP).

Justamente por utilizarem estes combustíveis, os aquecedores a gás estão em desuso atualmente, pois o gás natural ainda tem uma disponibilidade restrita aos grandes centros e o GLP tem um preço elevado se comparado a de outras formas de energia (lenha e carvão, por exemplo). Por isso, atualmente são utilizados como equipamentos reserva e acionados em casos de quebra ou manutenção dos equipamentos em uso. Existem no mercado vários tipos desses aquecedores, com diversas concepções quanto à forma de transmitir calor, maneiras de instalação e meios de controle da temperatura de operação, e podem ser divididos em campânulas à gás, campânulas com placa de cerâmica, campânulas infravermelhas ou geradores de ar quente.

As campânulas a gás devem ser instaladas a pouca altura do chão, por transmitirem o calor por condução e convecção, e por isso, a temperatura não é distribuída de forma uniforme em seu raio de ação, sendo recomendadas para, no máximo, 500 pintos. Os aquecedores a gás com placa cerâmica transferem o calor por meio da radiação, através da placa de cerâmica, onde a distribuição da temperatura é relativamente melhorada por serem instalados a uma altura um pouco superior, sendo que apresentam a desvantagem da fragilidade da placa cerâmica e são recomendados para 700 a 800 pintos. Nos aquecedores a gás tipo infravermelhos a transmissão de calor é através da radiação pela superfície totalmente incandescente dos

queimadores, sendo que a temperatura mais elevada se situa na zona de "habitat" do animal. Nesse tipo de aquecedor, primeiro o ar é aquecido e depois o calor é transmitido aos animais e a cama. O consumo médio de gás, para o período de aquecimento, é, em média, de 3 botijões de 13 kg para 1.000 aves no inverno (ABREU e ABREU, 2002). SANTOS (2001), encontrou um consumo médio, inverno e verão, de 1 botijão de 13 kg para cada 412 aves. Para CZARIC e LACY (1996) citados por FERREIRA (2004), há perda de 60% do calor produzido no processo de troca entre o queimador e o ar e, posteriormente entre o ar e as aves.

### 2.6.2. Aquecimento elétrico

Esse tipo de aquecedor teve grande difusão no passado, quando se criavam aves em grupos reduzidos, decaindo, posteriormente, nas granjas industriais, caracterizadas por criação de milhares de aves. São similares aos sistemas à gás, diferenciando-se apenas pela forma de geração do calor, que pode ser através de resistências elétricas, blindadas ou não e lâmpadas infravermelhas que são colocadas embaixo de uma campânula (refletor) a fim de projetar o calor de cima para baixo (ou resistências embutidas no piso a fim de projetar o calor de baixo para cima). O sistema, em si, é o mais limpo e de fácil manutenção existente, não gera gases tóxicos (CO e $CO_2$) e possui produção de calor constante, porém, são frágeis e apresentam pequeno raio de ação, além de estarem sujeitas a falhas no fornecimento de energia. O uso de lâmpadas infravermelhas apresenta consumo excessivo de energia, a menos que as lâmpadas sejam controladas termostaticamente. Utilizando-se este sistema, observou-se que canibalismo constitui sério problema (ABREU e ABREU, 2002).

Um bulbo de infravermelho de 250 W é suficiente para 60 a 100 pintainhos. O controle da temperatura deve ser feito pelo abaixamento ou levantamento do grupo de lâmpadas acima dos pintainhos (NORTH e BELL, 1990; ESMINGER, 1992 citados por FERREIRA, 2004).

### 2.6.3. Piso aquecido

O aquecimento do piso pode ser feito pelo uso de resistências elétricas fixadas sob ele, ou com o uso de água quente, fazendo-se circular no interior de tubos água com temperatura suficiente para fornecer calor para a cama e as aves.

Este sistema tem como vantagem o fornecimento uniforme de calor as aves, baixa concentração de amônia e umidade na cama e a não geração de gases tóxicos (CO e $CO_2$). Porém, esse sistema apresenta como limitações o custo elevado de instalação e manutenção, além do custo com energia elétrica se esta for usada.

### 2.6.4. Aquecimento com combustíveis alternativos

Nesse sistema, destacam-se os fornos para a queima das aves mortas, onde são utilizados esses resíduos da produção, ou outro tipo sólido combustível, para gerar o calor necessário, porém, apresenta a desvantagem do odor forte ao redor da granja o que o fez cair em desuso apesar do baixo custo de operação.

FERREIRA (2004), testou uma fornalha de carvão vegetal para o aquecimento de aviário, obtendo bons resultados, com a metade do custo em relação ao aquecimento com campânulas elétricas.

Os biodigestores também merecem destaque, neles são utilizados os resíduos da produção animal para geração de biogás. Estes também são muito pouco utilizados por ainda não existir uma cultura de aproveitamento de resíduos para a produção de biogás, além de faltar uma melhor divulgação e desenvolvimento da tecnologia.

Outra forma é com o uso de energia solar e eólica, apesar de essas tecnologias ainda possuírem alto custo de implantação, a cada dia estão mais próximas da realidade dos criadores (FERREIRA, 2004).

### 2.6.5. Aquecimento a lenha

Este tipo de aquecimento, um dos primeiros métodos usados no aquecimento de frangos, é feito com campânulas ou fornalhas à lenha (com trocadores de calor, uma vez que as de fogo direto em geral produzem fumaça que compromete o ar respirado pelas aves).

Segundo experimento realizado por WATSON et al., (1982), o calor fornecido por um sistema de aquecimento a lenha para galpão avícola foi muito acima do necessário e de difícil controle, sendo que a causa foi o modo em que a lenha foi queimada. Os autores usaram filtros para reduzir a emissão de gases para o interior do galpão, pois a queima da lenha foi incompleta e o aquecimento era direto.

Atualmente as fornalhas e campânulas a lenha já estão bem desenvolvidas, utilizando o aquecimento indireto do ar, e podendo ser instaladas dentro ou fora do galpão, dependendo do isolamento e dimensões. Entretanto, cabe ressaltar que as fornalhas de fogo indireto são pouco eficientes (cerca de 30 a 40%) no aquecimento de ar, implicando em custos relativamente significativos na produção.

Nesse tipo de aquecedor, o calor é transmitido às aves principalmente por meio da condução, sendo que o ar quente é sugado do trocador de calor, por meio de exaustores de 2 a 3 CVs e, depois, insuflado aos tubos perfurados distribuídos no comprimento do aviário. Essa alternativa diminui os gases tóxicos com melhor controle da temperatura, pois os exaustores são ligados e desligados automaticamente por meio de um painel de controle. A automação é feita por um sensor de temperatura ligado ao painel, com termostato e regulagem que é feita pelo galponista. O intervalo de temperatura geralmente usado é de 2 ℃, onde o motor é desligado quando atinge a temperatura máxima programada para o dia, e ligado quando a temperatura decaí 2 ℃ da máxima.

Como desvantagem apresenta a necessidade de manutenção periódica nas grelhas (a cada 1 ou 2 lotes), da chaminé e trocador de calor. Também há a necessidade do deslocamento periódico do operador no interior do galpão para o reabastecimento de lenha (pouca autonomia de

combustível). Além disso, no momento do reabastecimento ou quando a porta da fornalha é aberta muita fumaça escapa para dentro do galpão.

É prática comum no sul do Brasil, assim como nas regiões mais frias do país, como na região de Barbacena-MG, principalmente no inverno, o uso de queimadores a lenha ou carvão para suplementar o aquecimento do galpão. Esse sistema consiste de tanques de 200 litros vazios, produzidos artesanalmente em funilarias, podendo ser soldados de acordo com o pedido do produtor. Têm a função de amenizar as condições ambientais e não propriamente atender as exigências das aves. Normalmente os tanques são instalados perto das extremidades do aviário, onde boa parte do ar aquecido não chega devido as grandes dimensões dos galpões e a baixa temperatura (o ar sobe por convecção antes de atingir a lateral do galpão). O consumo de lenha é de cerca de 1 $m^3$ $dia^{-1}$ para uma aviário de 100 m de comprimento, dependendo das condições climáticas (ABREU e ABREU, 2002).

Cabe ressaltar ainda que o aquecimento na fase inicial de vida das aves representa aproximadamente 30% do custo total de produção, o que reforça a necessidade da escolha acertada do sistema de aquecimento a ser empregado, SILVESTNNI (2001), citado por FERREIRA (2004).

## 2.7. A biomassa como fonte alternativa de energia

O Brasil, semelhante aos outros países do mundo, tem enfrentado dificuldades com a questão energética. Com a primeira crise do petróleo, na década de 70, o país investiu em programas de energias alternativas, como o PROALCOOL, que muitos paises tomam como exemplo para diversificar sua matriz energética e fugir da dependência do petróleo, responsável por muitos desentendimentos e guerras entre nações.

Outra crise no setor energético ocorreu em 2001 quando, com a falta de chuva, os reservatórios das usinas hidroelétricas tiveram seu abastecimento prejudicado. Com isso, o governo passou a implantar usinas termelétricas a gás natural, sendo transportados por gasodutos da Bolívia interligando os dois paises. Porém, com as mudanças na política daquele país há uma tendência de elevação nos preços do gás natural, tornando-o

menos interessante que outras formas de energia, como a biomassa. Com isso, o governo federal passou a incentivar o desenvolvimento de pesquisas com fontes alternativas de energias, como a gaseificação que neste ano despertou o interesse do CNPq, que lançou edital exclusivo para financiamentos de pesquisas com a geração de energia a partir da gaseificação.

Atualmente, existe a preocupação global de se desenvolver estudos relacionados a geração de energias alternativas, na tentativa de amenizar o aquecimento global, por meio do uso de energias limpas, como a solar e eólica. Porém, a energia que está mais ao alcance da mão para o produtor rural é a energia da biomassa.

## 2.8. A lenha como combustível

A lenha é provavelmente o energético mais antigo usado pelo homem, participando com cerca de 10% da produção de energia primária. O país tem vocação para utilizar biomassa como fonte alternativa de energia. Clima tropical, grande extensão territorial e a vantagem de uma árvore crescer cinco vezes mais rápido do que em países com clima temperado ou frio fazem do Brasil um local adequado para a utilizar a biomassa na produção de energia.

A lenha é um combustível amplamente utilizado no Brasil, tanto em aplicações domésticas como em industriais para geração de vapor, principalmente em pequenas unidades produtoras, como também na secagem de produtos agrícolas. É caracterizado por baixo teor de cinzas, ausência de enxofre e umidade variável, a qual depende do tempo médio de armazenagem. A lenha, quando cortada possui aproximadamente 50 % de umidade. Estocada ao ar livre, em toras empilhadas, atinge a umidade de equilíbrio dentro de 3 a 6 meses, a qual dependendo da umidade relativa do ar, varia no final do período entre 15 e 25 % (SÁNCHEZ, 2005).

As novas tecnologias de conversão da lenha em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos de alto valor agregado, vêm atualmente despertando grande interesse mundial recebendo importante quantia de recursos para suas pesquisas e desenvolvimentos. A combustão ou queima

direta é a forma mais tradicional de uso da energia da lenha, porém, a gaseificação e a pirólise são processos termoquímicos que recebem especial atenção (CENBIO, 2005).

Conforme cita SÁNCHEZ (2005), projetos de sistemas específicos para utilização de biomassa com fins energéticos requerem um pleno conhecimento das propriedades físicas e químicas do bio-combustível. Estes estudos sobre conversão termoquímica de energia necessitam basicamente de quatro classes de informações: granulometria, análise imediata, análise elementar e poder calorífico. Além destes quatro fatores pode-se citar também a massa específica do combustível a ser utilizado como importante fator a vir a contribuir com o estudo da utilização da biomassa para diversos fins.

### 2.8.1. Composição elementar imediata

É a característica técnica mais importante do combustível e constitui a base para análise dos processos de combustão, tais como: cálculos dos volumes de ar, gases e entalpia, determinando o poder calorífico do combustível (LORA et al., 1997). A composição elementar é o conteúdo, em porcentagem de massa, de carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio, umidade e resíduo (cinzas) (SÁNCHEZ, 2005).

No Quadro 2 pode-se observar a composição elementar de dois diferentes tipos de biomassa.

Quadro 02: Composição elementar da biomassa, em % (base seca)

| Biomassa | Composição elementar (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Carbono | Hidrogênio | Oxigênio | Nitrogênio | Enxofre | Resíduo |
| Pinus[1] | 49,25 | 5,99 | 44,36 | 0,06 | 0,03 | 0,30 |
| Eucalipto[1] | 49,00 | 5,87 | 43,97 | 0,30 | 0,01 | 0,72 |
| Eucalipto[2] | 47,50 | 6,00 | 44,00 | 1,00 | 1,50 | - |
| Carvão[3] | 82,70 | 3,80 | 13,50 | - | - | - |

Fonte: [1] = Jenkins (1990), LORA et al. (1997); [2] = VLASSOV (2001); [3] = LOPES (2002).

A determinação da umidade da amostra realiza-se pelo método do forno de secagem conforme a norma ADTM D-3173. Neste método as amostras são secas em fornos com circulação natural de ar a temperatura entre 104 e 110 ºC até não ocorrer mais variação de massa. O tempo de secagem varia de algumas poucas horas para amostras finas, a até 48 horas para pedaços de madeira, conforme SÁNCHEZ (2004b). A determinação da umidade é feita por meio da equação 4.

$$U_{bu} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \quad (4)$$

em que

$U_{bu}$ = fração de água, $kg.kg^{-1}_{combustível\ úmido}$;

$M_0$ = massa da amostra de lenha úmida, kg; e

$M_1$ = massa da amostra de lenha seca, kg.

A composição imediata é o conteúdo em porcentagem de massa de carbono fixo, material volátil, cinzas e umidade, sendo que os voláteis têm um papel importante durante a ignição e nas etapas iniciais de combustão de biomassa (LORA et al., 1997).

No Quadro 3 pode-se observar a composição imediata de dois diferentes tipos de biomassa, segundo LORA et al. (1997).

Quadro 03: Composição imediata da biomassa, em % (base seca)

| Biomassa | Composição imediata (%) | | |
|---|---|---|---|
| | Voláteis | Cinzas | Carbono fixo |
| Pinus | 82,54 | 0,29 | 17,70 |
| Eucalipto | 81,42 | 0,79 | 17,82 |

Fonte: Jenkins (1990), LORA et al. (1997).

O material volátil é a parte do combustível sólido que se separa em forma gasosa durante o aquecimento do mesmo, e o carbono fixo é o resíduo combustível deixado após a liberação do material volátil. Pode-se concluir que a biomassa é composta na sua maior parte de carbono e

oxigênio, conforme Quadro 1, e que o conteúdo de voláteis pode ser considerado alto e o teor de cinzas baixo (MARTIN, 2005).

### 2.8.2. Poder calorífico

É a quantidade de energia por unidade de massa que se desprende durante a combustão completa do combustível. Define-se poder calorífico superior (PCS), quando a água proveniente da combustão é considerada na forma líquida e poder calorífico inferior (PCI) quando a água proveniente da combustão é considerada na forma de vapor (SÁNCHEZ, 2005). O PCI é obtido a partir do PCS e utilizado nos cálculos de combustão, onde é subtraído o custo energético para a evaporação da água (o que ocorre com a queima direta da madeira ao ar livre).

O carbono e o hidrogênio são os elementos que mais contribuem para o poder calorífico dos combustíveis. Já a água, encontrada nos combustíveis diminui o poder calorífico dos mesmos, pelo fato de aumentar a energia necessária à pré-ignição e diminuir o calor liberado pela combustão (LOPES et al., 2001; SÁNCHEZ, 2005).

No Quadro 4 encontra-se o PCS de alguns combustíveis sólidos.

Quadro 04: Poder calorífico da biomassa, em $kJ.kg^{-1}$ (base seca)

| Biomassa | Poder calorífico superior (PCS) ($kJ.kg^{-1}$) |
|---|---|
| Pinus[1] | 20.020 |
| Eucalipto[1] | 19.420 |
| Eucalipto[2] | 18.420 |
| Carvão[2] | 30.900 |

Fonte: [1] = Jenkins (1990), LORA et al. (1997); [2] = LOPES (2002).

O valor do poder calorífico refere-se a determinada quantidade de energia liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de um combustível. Esta energia é normalmente expressa em $kJ.kg^{-1}$. Como exemplo dos combustíveis gasosos, WANDER (2001) cita que o PCI do gás liquefeito de petróleo (GLP), de um modo geral, é de aproximadamente 45.000 $kJ.kg^{-1}$.

Segundo LOPES (2002), o poder calorífico superior é medido experimentalmente em calorímetro, entretanto, na ausência deste, pode-se estimar com boa aproximação o PCS a partir da composição elementar do combustível, na base seca, e da entalpia de reação dos elementos combustíveis com o oxigênio, utilizando-se a fórmula de Dulong (equação 5).

$$PCS = 33.774\,C + 141.744\,\left(H_2 - \frac{O_2}{8}\right) + 9.238\,S \qquad (5)$$

em que

PCS = poder calorífico superior, $kJ.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$;

C = fração de carbono do combustível, $kg.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$;

$H_2$ = fração de hidrogênio do combustível, $kg.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$;

$O_2$ = fração de oxigênio do combustível, $kg.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$; e

S = fração de enxofre do combustível, $kg.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$.

O poder calorífico inferior do combustível seco (PCI) é determinado analiticamente a partir da equação 6 (BAZZO, 1995 e CHANDRA e PAYNE, 1986), subtraindo-se do PCS a entalpia de vaporização da água devido ao vapor d'água formado na reação do hidrogênio com o oxigênio.

$$PCI = PCS - h_v\left(9\ H_2\right) \qquad (6)$$

em que

PCI = poder calorífico inferior, $kJ.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$;

$h_v$ = entalpia de vaporização da água, $kJ.kg^{-1}$ de água na temperatura de referência de 25ºC, equivalente a 2.440; e

$9H_2$ = fração de hidrogênio do combustível, $kg.kg^{-1}_{\text{combustível seco}}$.

Levando-se em consideração cálculos referentes à avaliação da eficiência térmica, com base no combustível úmido, o poder calorífico inferior deve ser corrigido para a composição elementar na base úmida (PCIu) considerando ainda a umidade presente no combustível, de acordo com a equação 7 (CAMARGO, 1990).

$$PCI_u = PCS\,(1 - U_{bu}) - h_v\,[\,9\,H_2\,(1 - U_{bu}) + U_{bu}\,] \qquad (7)$$

em que

$PCI_u$ = poder calorífico inferior úmido, $kJ.kg^{-1}_{combustível\ úmido}$.

### 2.8.3. Granulometria

A granulometria fornece as frações das dimensões características que compõem a biomassa. A análise granulométrica da amostra de partículas sólidas é feita classicamente por meio da utilização de um conjunto de peneiras padronizadas (SÁNCHEZ, 2004b), cuja função principal é a determinação do diâmetro das partículas.

### 2.8.4. Massa específica

É a massa do produto para um determinado volume incluindo os espaços vazios entre a lenha. Esta é variável devido aos espaços vazios contidos no volume do recipiente. Pode ser calculado segundo a norma da NBR 6.922 da ABNT (1981), utilizando-se uma caixa de dimensão conhecida (0,6 m x 0,6 m x 0,6 m) por meio da equação 8.

$$Me_b = \frac{M_{c+b} - M_c}{V_c} \qquad (8)$$

em que

$Me_b$ = massa específica da lenha, $kg.m^{-3}$;

$M_{c+b}$ = massa da caixa + lenha, kg;

$M_c$ = massa da caixa, kg; e

$V_c$ = volume da caixa (0,216), $m^3$.

### 2.8.5. Ar estequiométrico ou teórico

O ar necessário, na quantidade exata, para proporcionar a combustão completa de carbono, hidrogênio, enxofre e de outros elementos presentes no combustível que possam se oxidar é denominado “ar teórico” ou estequiométrico (LOPES, 2002).

Ar estequiométrico é a quantidade de ar teoricamente necessária para a combustão total de um quilograma de combustível e se calcula a partir das reações de combustão dos elementos que o compõem (reações estequiométricas). Estas reações estequiométricas de combustão são as reações dos componentes elementares do combustível com o oxigênio (LORA e HAPP, 1997).

A determinação da quantidade mínima de oxigênio necessário e suficiente para oxidar completamente os elementos combustíveis é feita com base na análise elementar do combustível. Para um combustível isento de umidade e constituído por carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre, as equações químicas de reação estequiométrica entre estes elementos e o oxigênio conduzem a equação 9, que permite determinar a massa teórica do oxigênio necessário à combustão (PERA, 1990).

$$m_{O_2}^{ts} = \frac{32}{12} C + 8 H_2 - O_2 + S \qquad (9)$$

em que

$m_{O_2}^{ts}$ = massa teórica de oxigênio, $kg.kg^{-1}_{combustível\ seco}$.

Como na prática o combustível apresenta certo teor de água, é comum expressar o consumo de oxigênio e de ar comburente por quilograma de combustível úmido, conforme a equação 10.

$$m_{O_2}^{tu} = m_{O_2}^{ts} \left(1 - U_{bu}\right) \qquad (10)$$

em que

$m_{O_2}^{tu}$ = massa teórica de oxigênio, $kg.kg^{-1}_{combustível\ úmido}$.

Segundo (SÁNCHEZ, 2004c), a maioria dos processos industriais de combustão utiliza o ar ambiente como fonte de fornecimento de oxigênio para a combustão, sendo que a sua composição volumétrica corresponde a 21 % de oxigênio e 79 % de nitrogênio.

A massa teórica de ar seco necessário para a combustão pode ser calculada por meio da equação 11.

$$m_{ar.seco}^{ts} = \frac{100}{23} m_{O_2}^{ts} \quad (11)$$

em que

$m_{ar.seco}^{ts}$ = massa teórica de ar comburente seco, $kg.kg^{-1}_{combustível\ seco}$.

O consumo estequiométrico de ar comburente seco, por quilograma de combustível úmido pode ser obtido por meio da equação 12.

$$m_{ar.seco}^{tu} = \frac{100}{23} m_{O_2}^{tu} \quad (12)$$

em que

$m_{ar.seco}^{tu}$ = massa teórica de ar comburente seco, $kg.kg^{-1}_{combustível\ úmido}$.

Como na composição do ar úmido existe vapor d'água, o consumo de ar teórico úmido, por unidade de combustível úmido, pode ser calculado por meio da equação 13.

$$m_{ar.úmido}^{tu} = m_{ar.seco}^{tu} (1 + W) \quad (13)$$

em que

$m_{ar.úmido}^{tu}$ = massa teórica de ar comburente úmido, $kg.kg^{-1}_{combustível\ úmido}$; e

$W$ = razão de mistura do ar úmido, $kg_{vapor\ d'água}.kg^{-1}_{ar\ seco}$.

## 2.9. Fornalhas

Fornalha é um dispositivo ou local onde ocorre a queima de um combustível, ou seja, onde a energia química potencial do combustível transforma-se em energia térmica (OLIVEIRA FILHO, 1986). Segundo FERREIRA (2004), as fornalhas são estruturas projetadas como objetivo de possibilitar a queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos por meio da combustão completa, garantindo o máximo de rendimento térmico.

As fornalhas são compostas de muitos elementos, e apesar de apresentarem características muito semelhantes, variam muito quanto a

forma, tamanho, localização de entradas de ar utilizado como comburente, e fluxo (descendente ou ascendente).

Normalmente as fornalhas são compostas de câmara de combustão, grelha, aberturas de entrada, aberturas de saída e cinzeiro.

Existem dois tipos básicos de fornalhas, uma para aquecimento direto do ar, conhecida como “fornalha de fogo direto”, e outra para aquecimento indireto do ar, conhecida como “fornalha de fogo indireto” (FERREIRA et al. 2006), sendo que o aproveitamento do gás da combustão varia conforme as necessidades de uso do ar quente gerado (LOPES, 2002).

Além do tipo de aquecimento do ar, outro fator que diferencia as fornalhas é a eficiência térmica, sendo maior nas fornalhas de fogo direto.

A eficiência térmica representa a relação entre a quantidade de energia térmica liberada pela fornalha em relação à quantidade total de energia térmica existente no combustível antes da combustão, na forma de energia química, que poderia ser liberada se a combustão fosse completa (FERREIRA, 2004).

A eficiência térmica para fornalhas de fogo direto e fluxo descendente que utilizam lenha como combustível, segundo GOMES (1988), varia entre os valores de 44,4 a 83,0%, em função do excesso de ar comburente na câmara de combustão.

SAGLIETTI (1991), encontrou eficiência energética média de 28% para fornalhas de fogo indireto a lenha. Já como uso de palha de café, usando o mesmo tipo de fornalha, VALARELLI (1991), encontrou eficiência energética de 54%.

O rendimento dessas fornalhas são menores, em relação as de fogo direto, pelas perdas de calor pela chaminé e trocador de calor.

De acordo com OLIVEIRA (1996), as fornalhas de fogo indireto destacam-se pelo fato de não contaminar o ar aquecido que será utilizado, por exemplo, para aquecimento de galpões ou na secagem de produtos agrícolas.

O contrário ocorre com as fornalhas de fogo direto, onde o gás resultante da combustão pode tornar-se indesejável nos casos em o processo de combustão seja incompleto, gerando compostos contaminantes (quando a queima não acontece com oxigênio suficiente).

## 2.10. Gaseificação de biomassa

### 2.10.1. Fundamentos

A gaseificação é definida como a conversão da biomassa, ou de qualquer combustível sólido, em gás energético, através da oxidação parcial a temperaturas elevadas. Esta conversão pode ser realizada em vários tipos de reatores, tais como de leito fixo e de leito fluidizado (LORA et al., 1997).

Segundo LORA, citado por SANTOS (2003), a quantidade de oxigênio fornecida ao sistema para que ocorra a gaseificação deve ser na ordem de 20 a 40% da necessidade estequiométrica. Este valor é conhecido como fator de ar, coeficiente estequiométrico, razão de equivalência ou taxa de equivalência. Assim, pode-se afirmar que a gaseificação difere-se basicamente da combustão pelo fato de não utilizar a massa de ar teórica necessária para a oxidação completa do combustível, ou seja, restringe-se a entrada de ar a certos valores de tal modo que ocorram além de reações de oxidação (completa e parcial), reações de redução, promovendo a formação do gás combustível, de amplo uso.

### 2.10.2. Usos

Dentre as pesquisas recentes sobre a utilização da gaseificação de biomassa, pode-se citar SANTOS (2003) e SILVA et al. (2000) onde foram testados gaseificadores de biomassa acoplados a combustores do gás produzido a fim de disponibilizar ar quente e limpo para a secagem de produtos agrícolas. Utilizando-se lenha de eucalipto com combustível, MARTIN (2005) e VIEIRA (2005) testaram um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente associado a um combustor do gás produzido para aquecimento de ar para secagem de produtos agrícolas e outros fins, utilizando apenas lenha de eucalipto e lenha de eucalipto associada a briquetes, respectivamente. WANDER (2001) estudou a geração de energia elétrica com o uso do gás produzido em um motor de combustão interna a partir da utilização de resíduos de madeira e lenha.

### 2.10.3. Vantagens da gaseificação

A utilização de reatores para gaseificação de biomassa acoplados a combustores do gás produzido para aquecimento de galpões avícolas, baseia-se na hipótese desta tecnologia poder representar ao avicultor redução no custo de produção, comparativamente aos sistemas tradicionais de aquecimento de galpões avícolas. Isto tudo aliando-se a eficiência energética dos gaseificadores com o custo do combustível utilizado, podendo assim gerar ar quente para as aves.

Convém salientar que, as fornalhas de fogo indireto usualmente utilizadas para aquecimento de aviários, produzem ar quente próprio para tal isento de impurezas e odores. Todavia, apresentam baixa eficiência térmica e, muitas vezes, danos térmicos às grelhas e aos trocadores de calor, o que acaba onerando os custos de produção. Já os aquecedores a gás apresentam a desvantagem de apresentar um custo muito elevado, sendo assim utilizados por poucos produtores ou em situações estritamente necessárias.

### 2.10.4. Combustível

Diversos são os tipos de biomassa que podem ser utilizadas no processo de gaseificação. A exemplo, pode-se citar a lenha, o carvão vegetal, resíduos florestais, resíduos agrícolas, bagaço de cana e casca de arroz (CEMIG, 1986). Convém salientar que, segundo MENDES et al. (1998), em gaseificadores de fluxo concorrente só é possível gaseificar materiais com até 30% de umidade, uma vez que o excesso de água prejudica a qualidade do gás, tornando instável a zona de combustão.

## 2.11. Gases produzidos pela combustão incompleta

Em relação a quantidade dos gases resultantes da combustão, independentemente do tipo de combustível, quando a combustão ocorre de forma incompleta os gases oriundos passam a conter resíduos tóxicos

prejudiciais ao homem e ao meio ambiente. Os compostos considerados preocupantes para aplicação direta dos gases resultantes da combustão incompleta são os óxidos de enxofre, os óxidos de nitrogênio, os hidrocarbonetos polinucleados, os pirolíticos condensados voláteis (fumaça), as partículas de carbono (fuligem) e as cinzas, cujas concentrações dependem do tipo de combustível. Outros elementos prejudiciais presentes nos gases da combustão são os particulados, emitidos na atmosfera pelas chaminés. Todos esses elementos são resultantes de uma combustão ineficiente (Wenzl, 1970) citado por FERREIRA, (2004).

Os gases resultantes da combustão são constituídos de "$CO_2$, $SO_2$, $O_2$, $N_2$", $H_2O$ (vapor d'água) e "CO". Quanto maior o teor de "$CO_2$", melhor o aproveitamento do combustível. No caso do "$CO_2$", se a quantidade de ar empregada for a necessária a combustão completa, o teor de "$CO_2$" nos gases da combustão será máximo (21%) e o de oxigênio nulo. Se houver falta de ar, a quantidade de "$CO_2$" será menor indicando uma combustão incompleta, com formação de "CO" e aumento das perdas de energia.

Sendo que a composição de um quilograma de madeira é aproximadamente 50% de carbono, quando é queimada em condições ideais, a fumaça consiste em sua maior parte de água e dióxido de carbono. Mas, nas práticas tradicionais onde não há oxigênio suficiente, aquelas 500 gramas de carbono produzem de 50 a 60 gramas de monóxido de carbono, 20 a 30 gramas de metano, 30 a 40 gramas de outro resíduo (ANÔNIMO, 2006).

Esse monóxido de carbono gerado pela combustão incompleta de combustível, devido a falta ou ajuste irregular dos aquecedores, pode provocar a intoxicação de aves.

O monóxido de carbono ao ser absorvido pelo organismo produz carboxi-hemoglobina causando anóxia anêmica (Incapacidade de oxigenar os orgãos e os tecidos do corpo). Ressalta-se que o CO possui grande afinidade pela hemoglobina, podendo ser de 200 a 250 vezes maior que a do oxigênio e isto faz com que a hemoglobina transporte o CO consigo para os músculos, e não o $O_2$, causando então asfixia que pode levar a morte (SOUZA et al., 2004).

# 3. MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1. O experimento

O experimento foi conduzido no período de inverno, de 4 a 25 de junho de 2006, durante um ciclo produtivo, em galpões comerciais da Empresa NR Alimentos Nogueira Rivelli Irmãos LDTA – FRANGOBOM, no Sítio João Rivelli, pertencente ao município de Barbacena, Minas Gerais, situado na latitude 21° 6' 18'' S e longitude 43° 46' 12'' W, altitude de 1.126 metros.

Na pesquisa foi estudado o sistema de aquecimento com o uso da gaseificação, sendo construído no local um gaseificador de biomassa com combustor de gases acoplado, o que não ocasionou alterações significativas na granja e nem no manejo.

O clima da região é classificado segundo Köppen como Cwa (temperado suave).

## 3.2. Características dos galpões

Foram utilizados dois galpões similares, de um mesmo núcleo, posicionados lado a lado, com aproximadamente 40 m de afastamento um do outro e orientados no sentido leste-oeste. Estes galpões possuem as mesmas dimensões e características construtivas, com 8 m de largura por 60 m de comprimento (480 $m^2$ de área). As muretas laterais têm 0,2 m de altura, e as laterais teladas são protegidas por duplo cortinado de

poliuretano. Os forros são de poliuretano, posicionados a 2,9 m de altura a partir do piso, sendo a cobertura em telhas de cimento amianto, sem lanternin, beirais de aproximadamente 1,5 m. A estrutura do telhado é em madeira apoiada em pilares de concreto armado, espaçados a 2,66 m.

Um destes galpões, escolhido aleatoriamente, foi equipado com sistema de aquecimento baseado no gaseificador de biomassa, descrito anteriormente. No outro galpão utilizou-se fornalha a fogo indireto, encontrada no local.

A distribuição do ar aquecido internamente no galpão foi realizada por meio de tubulação metálica, com 100 mm de diâmetro, posicionada na direção longitudinal do galpão, a partir do meio seguindo para as extremidades, pelo centro do aviário. A tubulação possui orifícios com sistema de fechamento, distribuídos a cada metro e que se usava regulagem da distribuição do ar quente (Figura 01).

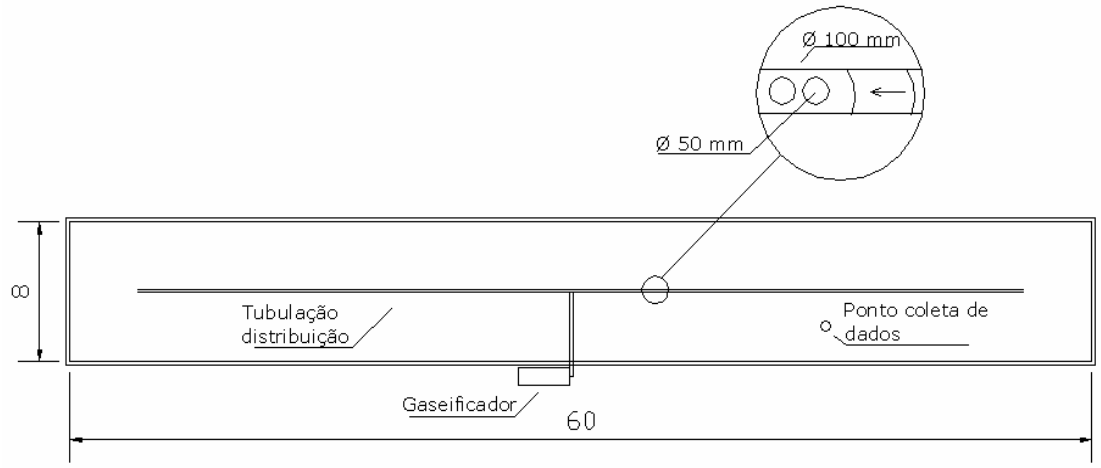


Figura 01. Esquema da distribuição de ar quente e controle dos orifícios para a regulagem da distribuição do ar. Unidade de cotagem: m.

### 3.3. Manejo das aves

O experimento foi conduzido com frangos de corte, do 1° até o 21° dia de idade (fase de aquecimento), da linhagem "Hybrom", utilizando uma densidade final aproximada de 15,0 aves $m^{-2}$, perfazendo um total de 14.200 aves, constituídos de machos, divididos proporcionalmente nos 2 galpões. O manejo foi idêntico nas duas instalações, sendo realizado pelo mesmo galponista.

Ao início do experimento (1º dia de vida) as aves foram distribuídas na densidade de 65 aves $m^{-2}$, tendo como limites físicos os pinteiros formados por lonas de vinil, os quais tiveram suas áreas aumentadas na segunda e terceira semanas de vida, Quadro 5, de maneira que a densidade de alojamento foi se reduzindo paulatinamente até a densidade final de criação, que é de 15,0 aves $m^{-2}$ no final da fase de aquecimento.

O manejo da temperatura foi feito de acordo com os outros galpões do mesmo núcleo, seguindo metodologia da empresa onde se realizou o experimento, com a variação de temperatura no interior dos galpões programada de acordo com o Quadro 05. O controle era feito usando-se um termopar ligado a um quadro de comando que acionava o ventilador da fornalha. No caso do galpão com o gaseificador esse controle era feito de forma manual, mas sempre observando a temperatura no interior do galpão.

Quadro 05: Manejo da temperatura adotado pela empresa no interior dos galpões

| | | Temperatura (°C) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Ideal | Mínima | Máxima |
| Dias de vida das aves | 1 | 32 | 31 | 33 |
| | 2 | 32 | 30 | 32 |
| | 3 | 31 | 29 | 31 |
| | 4 | 31 | 29 | 31 |
| | 5 | 30 | 28 | 30 |
| | 6 | 30 | 28 | 30 |
| | 7 | 29 | 27 | 29 |
| | 8 | 29 | 27 | 29 |
| | 9 | 29 | 27 | 29 |
| | 10 | 28 | 26 | 28 |
| | 11 | 28 | 26 | 28 |
| | 12 | 28 | 26 | 28 |
| | 13 | 27 | 25 | 27 |
| | 14 | 27 | 25 | 27 |
| | 15 | 27 | 25 | 27 |
| | 16 | 26 | 24 | 26 |
| | 17 | 26 | 24 | 26 |
| | 18 | 26 | 24 | 26 |
| | 19 | 25 | 23 | 25 |
| | 20 | 25 | 23 | 25 |
| | 21 | 25 | 23 | 25 |

Durante o dia, no galpão com o gaseificador, o controle era feito observando o horário em que o quadro de comando acionava o ventilador, e

2 minutos após abria-se o duto que levava ar quente ao interior do galpão. Quando a temperatura atingia a máxima programada para o dia, o quadro de comando desligava automaticamente o ventilador do gaseificador. Como a temperatura ambiente durante o dia é maior que à noite, o gaseificador funcionava automaticamente, pois apesar da demora em entrar ar quente no galpão (2 minutos a mais que o galpão com fornalha) a temperatura interior não era afetada.

À noite, porém, com a queda da temperatura externa, o calor do interior do galpão era perdido rapidamente. Dessa forma, o controle do gaseificador era feito de forma manual, ligando-o antes de atingir a temperatura mínima, a fim de evitar que a temperatura caísse além da mínima programada.

### 3.4. Sistemas de aquecimento

Os sistemas de aquecimento analisados nesse experimento foram fornalha a fogo indireto e gaseificador de biomassa. A opção pelo uso de fornalha de fogo indireto foi feita porque, além do sistema já se encontrar instalado nas granjas do Sítio, ele é o mais usado pelos integrados da empresa.

#### 3.4.1. Sistema de Fornalha

Nesse sistema foi utilizada a fornalha existente no galpão para o aquecimento, sendo que nada foi alterado do sistema original Figura 02. A fornalha é da marca DEBONA, modelo D 200, com capacidade de 1 $m^3$.

Figura 02: Fornalha existente na granja, modelo D 200

### 3.4.2. Sistema gaseificador/combustor

O sistema de aquecimento gaseificador/combustor baseou-se no sistema desenvolvido por MARTIN et al., (2006). Nele foram feitas algumas modificações a fim de melhorar a eficiência (Figura 03).

Figura 03: Gaseificador/combustor construído para funcionar como aquecedor da granja

### 3.4.2.1. Projeto e Cálculo

Para o dimensionamento do reator, foram necessários estudos prévios sobre a quantidade de energia necessária ao aquecimento dos galpões. Também foram levantados dados sobre o comburente e o combustível a serem utilizados no processo de gaseificação segundo a metodologia de MARTIN at al., (2006). Com os cáculos chegou-se a uma potência necessária ao gaseificador para aquecer o galpão, que era a mesma do gaseificador projetado por MARTIN et al., (2006), sendo assim, foi usado o mesmo dimensionamento.

### 3.4.2.2. Construção do sistema gerador de calor

Por meio de sorteio determinou-se o galpão onde seria construído o gaseificador. A partir disso, iniciou-se a construção do mesmo. Toda a base do gaseificador foi revestida com tijolos refratários.

**Construção do reator**

A construção do sistema iniciou pela base de suporte do reator, a qual também teve a função de cinzeiro. Foram construídas duas paredes de tijolos refratários, distanciadas a 0,5 m, e sobre as quais foi apoiado um tubo de ferro com 0,5 m de diâmetro e 0,6 m de altura, que constituiu o reator, onde na parte superior encontravam-se as 8 aberturas de diâmetro de 0,05 m distribuídas uniformemente para entrada do ar primário no reator. Acima deste, foi soldado um outro tubo de ferro com 0,4 m de diâmetro e 1,0 metro de altura, que constituiu a zona de pirólise e secagem. Ao redor desse sistema foi instalados um tubo de ferro, com 0,95 m de diâmetro e 2,2 m de altura, para servir de “camisa” (trocador de calor) e aumentar a eficiência. Entre o reator e a “camisa” foi instalado um tubo de ferro com 0,1 m de diâmetro, com uma extremidade próxima a parte superior da “camisa” e a outra no combustor, como objetivo de levar o ar quente que circulava ao redor do trocador até a zona de combustão do gás gerado. Com chapa

metálica foi construída a tampa do cinzeiro, para permitir a retirada as cinzas, e a tampa do reator, que serviu para permitir o seu abastecimento, sendo que, em condições de trabalho esta permanecia fechada, para não proporcionar a entrada de ar na parte superior do reator. O gás produzido era succionado pelo sistema de ventilação, sendo forçado a passar pela grelha chegando até o combustor. A Figura 04 mostra as etapas de construção do gaseificador.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 04: Fases da construção do gaseificador. a – construção da base; b – reator; c – trocador de calor e; d – vista após montagem das aberturas de entradas do ar primário

**Construção do combustor**

A câmara de combustão do gás produzido tinha início logo após a saída do gás do reator pela grelha. O revestimento da câmara foi feito com tijolo refratário, tendo duas entradas de ar primário para o combustor, sendo uma proveniente do ar coletado do espaço entre o reator e a “camisa” de aço que a protegia, e uma janela na parte superior, com regulagem de abertura, a qual permitia a visualização do gás em combustão (Figura 05).

Figura 05: Câmara de combustão em construção

Logo após a câmara de combustão encontrava-se um tubo metálico que tinha a função de manter a queima do gás devido a possíveis variações no comprimento da chama do gás em combustão. Esse tubo encontrava-se no interior de uma caixa de alvenaria, na qual haviam duas aberturas na parte superior para a entrada de ar secundário, servindo assim como trocador de calor e misturador de ar. Logo, o ar quente de saída do combustor era a mistura do produto da combustão do gás com o ar do trocador de calor, o qual fazia parte do combustor, Figura 06. Além disso, o combustor ajudava a quebrar fagulhas, caso houvesse necessidade. Ao final da câmara de combustão foi instalado o sistema de ventilação.

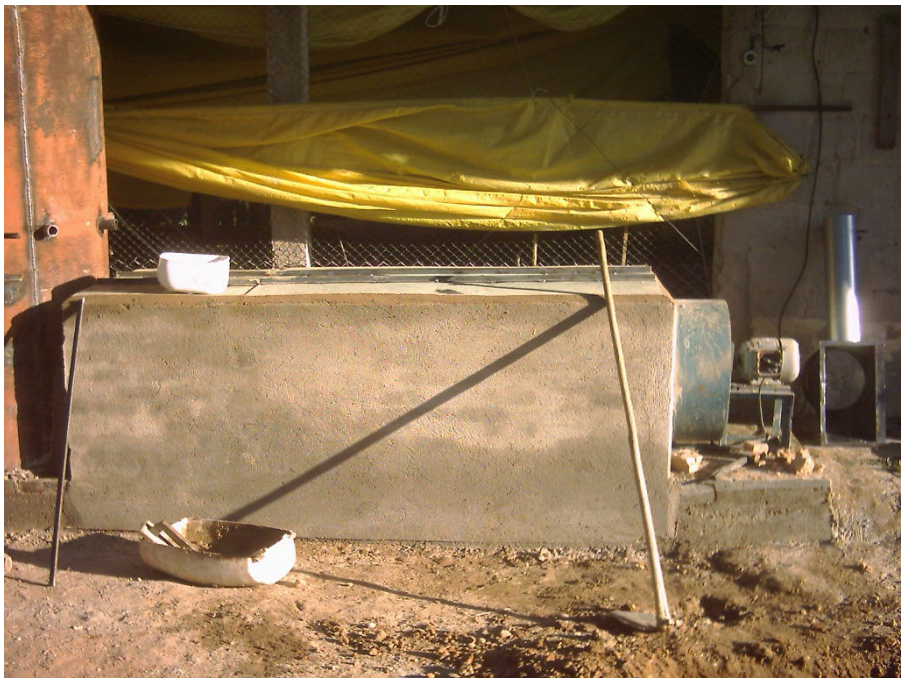

Figura 06: Câmara de combustão

**Sistema de ventilação**

O ventilador foi instalado na saída da câmara de combustão e mistura. Sua função principal foi criar pressão negativa, capaz de succionar o ar ao longo do conjunto misturador gaseificador, e pressão positiva, capaz de soprar o ar ao longo dos dutos do interior do galpão. Para tanto, foi utilizado um ventilador centrifugo de pás radiais, capaz de produzir pressão estática e dinâmica suficientes para vencer as perdas de carga impostas pelos conjuntos (dutos internos no galpão, geseificador e misturador) e assegurar a sucção do ar primário e dos gases resultantes da combustão e do ar secundário, necessário para atingir a qualidade e a temperatura no interior do galpão.

Para acionar o ventilador foi acoplado diretamente ao seu eixo um motor elétrico trifásico, 220/380 V, marca WEG, modelo S9054, com potência de 2 cv e de baixa rotação nominal (1.730 rpm), IP/IN 7,0 (dados da placa do motor), satisfazendo as necessidades do sistema.

### 3.4.2.3. Funcionamento e Operação do sistema

#### Abastecimento

A autonomia do Gaseificador/combustor, carregado de lenha, é de aproximadamente 4 horas de funcionamento. O abastecimento era feito a cada duas horas a fim de manter um nível regular de combustível e, dessa forma, aproveitar para diminuir o teor de água da lenha que encontrava-se com umidade acima da recomendada para o sistema de gaseificação.

#### Regulagens e ignição

No início, o processo de ignição era feito com um lança–chamas, acoplado ao GLP, com todas as entradas de ar do sistema fechadas, exceto as do ar primário do reator, e o sistema de ventilação era acionado. O lança-chamas era inserido em uma das entradas de ar do primário do reator e dava-se início a ignição da lenha, iniciando também o processo de gaseificação no reator. O lança-chamas permanecia na lenha até que se observasse o início da gaseificação e a temperatura na zona de oxidação atingisse aproximadamente 700 ºC. Em seguida retirava-se o lança-chamas e procediam-se regulagens até atingir o ponto ideal de funcionamento, ou seja, gás limpo, para dar início ao aquecimento do galpão.

## 3.5. Sistema de distribuição de ar aquecido pela fornalha

O aquecimento no interior do galpão foi realizado por meio de um sistema de distribuição do ar aquecido pelo gaseificador, conduzido por dois tubos de latão, com 0,1 m de diâmetro, suspensos a 0,3 m acima do chão, interligados, centralizados no galpão de forma longitudinal e conectados ao duto principal que trazia o ar do ventilador, atravessando a tela do galpão, Figura 07.

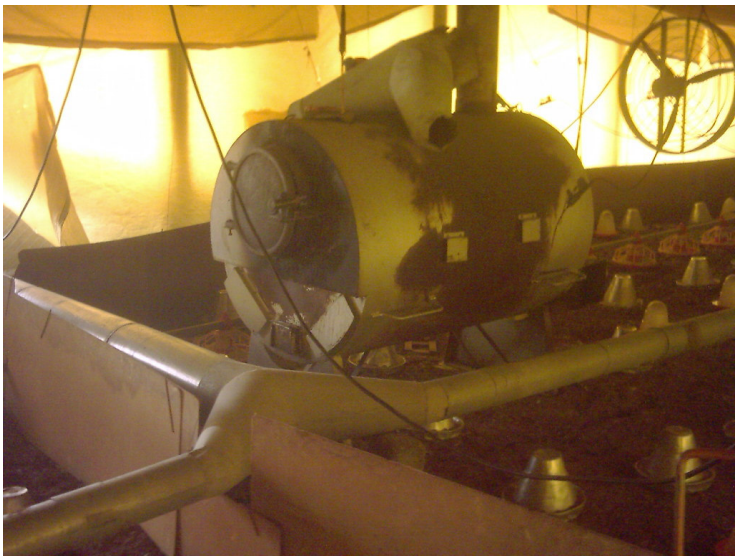

Figura 07: Distribuição de ar nos galpões

A cada metro de tubo de distribuição de ar havia dois furos de 0,05 m, com regulagem de abertura, para a distribuição do ar quente de forma uniforme em todo galpão, ver Figura 01.

### 3.6. Características do combustível

O combustível utilizado para a gaseificação foi lenha de eucalipto proveniente do reflorestamento da empresa, que era fornecida no tamanho comercial (1 metro de comprimento). A lenha, após estar na área experimental, teve seu comprimento reduzido, por três cortes em cada tora, com o auxílio de uma moto-serra, conforme as necessidades do projeto. Logo após, os pedaços de lenha foram misturados e amontoados em um único local, a fim de tornar o material mais homogêneo possível. Além da lenha, foram utilizadas pequenas quantidades de gás liquefeito de petróleo (GLP), necessário para dar partida no sistema gaseificador/combustor.

#### 3.6.1. Composição elementar

Os valores utilizados para a composição elementar da lenha de eucalipto foram os citados por VLASSOV (2001), tidos como referência, conforme Quadro 2.

A determinação da umidade da lenha foi feita utilizando-se uma estufa, com circulação forçada de ar, e uma balança eletrônica com capacidade de 2,2 kg e sensibilidade de 0,01 g. Foram coletadas amostras para cada teste, preparadas em pequenos pedaços, determinadas as massas e colocados na estufa, a temperatura de 103 ± 3 ºC, até atingirem massa constante, quando então tiveram a massa e a umidade determinada novamente.

### 3.6.2. Poder calorífico

Para a determinação do poder calorífico superior (PCS) da lenha de eucalipto, foram retiradas três amostras. Estas, por sua vez, unidas formaram nova e única amostra, da qual determinou-se o PCS utilizando-se uma bomba calorimétrica, no Laboratório de Energia da Madeira, no Departamento de Engenharia Florestal da UFV, segundo as normas ASTM D-2015-66.

As determinações do poder calorífico inferior (PCI) e do poder calorífico inferior úmido ($PCI_u$) foram obtidas pelas equações 6 e 7, respectivamente, utilizando-se dados da Quadro 2 citados por VLASSOV (2001).

### 3.6.3. Granulometria e massa

A determinação da granulometria da lenha foi feita utilizando-se uma trena, no qual foram feitas amostragens para determinação das variações tanto do diâmetro quanto do comprimento das toras de lenha.

Para a determinação da massa utilizou-se uma balança com capacidade de até 140 kg. A Figura 08 ilustra o combustível utilizado nos testes.

Figura 08. Combustível (lenha de eucalipto) proveniente de reflorestamento da empresa (NR Alimentos) usado no gaseificador para o aquecimento do aviário

### 3.7. Calor necessário para o aquecimento do aviário

A quantidade de calor necessário para aquecimento do ar no gradiente térmico ($\Delta T$) pode ser calculado pela equação 16 , com base na vazão mássica do ar ($\dot{m}_{ar}$), que pode ser obtida por meio da equação 15, a partir da do conhecimento da vazão volumétrica do ar ($\dot{V}_{ar}$) e da massa específica média do ar aquecido ($\rho_{ar}$), no intervalo de temperatura considerado.

Foi considerado então, 12 °C a temperatura mínima média do ar ambiente, 20 °C a temperatura média ambiente e 33 °C a temperatura máxima no interior do galpão.

$$\rho_{mar} = \frac{P_{atm}}{R_{ar} \times T_{mar}} \tag{14}$$

em que

$\rho_{mar}$ = massa específica média do ar, kg $m^{-3}$;

$P_{atm}$ = pressão atmosférica da estação meteorológica local, kN $m^{-2}$;

$R_{ar}$ = constante universal para o ar, kN m $kg^{-1}.K^{-1}$; e

$T_{mar}$ = temperatura média do ar, K.

A vazão mássica de ar ($\dot{m}_{ar}$) foi calculada de acordo com a equação 15.

$$\dot{m}_{ar} = \rho_{mar} \times \dot{V}_{ar} \quad (15)$$

em que

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

$\dot{V}_{ar}$ = vazão volumétrica de ar, $m^3$ $s^{-1}$; e

$\rho_{mar}$ = massa específica média do ar, kg $m^{-3}$.

O calor necessário para aquecer o ar foi calculado utilizando-se a equação 16.

$$\dot{Q}_{ar} = \dot{m}_{ar} \times C_p \times \Delta T \quad (16)$$

em que

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

$C_p$ = calor específico a pressão constante, 1,0062 kJ $kg^{-1}.°C^{-1}$; e

$\Delta T$ = gradiente de temperatura, °C.

### 3.8. Instrumentos e medições

#### 3.8.1. Condições do ambiente térmico

Durante os 21 dias da fase de aquecimento, foram anotados, diariamente, a cada duas horas na primeira semana de vida das aves e a cada três horas na segunda e terceira semanas de vida das aves, durante as 24 horas do dia, valores de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo negro e velocidade do ar, visando determinar os valores da carga térmica radiante e índices de temperatura de globo negro e umidade nos respectivos horários, nos dois galpões e na área externa a esses.

Para os demais índices de conforto, os mesmos dados foram coletados eletronicamente por um sistema de aquisição de dados, obtendo-se valores de temperatura e umidade relativa do ar, a cada 15 min durante todo período experimental.

#### 3.8.1.1. Interior dos galpões

**Temperatura de globo negro (Tgn)**

No interior dos galpões, foram utilizados termômetros de globo negro instalados na altura correspondente ao centro de massa das aves, onde dentro de cada globo negro, foi alojado um termômetro de vidro, com escala externa de leitura graduada de –10 °C a +110 °C e precisão de 0,1 °C, que permitia a obtenção da temperatura de globo negro em intervalos pré-determinados.

**Temperatura de bulbo seco (Tbs) e temperatura de bulbo úmido (Tbu)**

Os dados de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido foram obtidos através de "*dataloggers*" (marca HOBO®, modelo H08-032-08, com resolução de 0,1°C e acurácia de ±0,2°C e faixa de mensuração de –30°C a 50°C para a temperatura e acurácia de ±3% e faixa de mensuração de 0% a 100% para umidade relativa) de leitura contínua, em intervalos de 15 min, durante todo período experimental, instalados nas proximidades de cada globo.

A partir dos valores de temperaturas, determinou-se a temperatura de ponto de orvalho (Tpo) e a umidade relativa do ar (UR), para cada horário de observação.

**Velocidade do ar**

A velocidade do ar foi obtida com o uso de anemômetro digital de pás rotatórias, da marca Instrutherm, modelo TAVR-650 que media velocidades

de até 45,0 m $s^{-1}$ (com sensibilidade de ± 0,1), sendo que as leituras foram realizadas nas proximidades de cada globo negro.

**Temperatura máxima e mínima**

Para obtenção das temperaturas extremas foram utilizados termômetros de máxima e mínima, instalados no interior dos galpões, próximos aos globos negros, e na área externa aos galpões, dentro do abrigo meteorológico, sendo que as leituras eram realizadas diariamente às 18:00 horas.

### 3.8.1.2 Exterior dos galpões

Os dados térmicos externos foram obtidos em abrigo meteorológico posicionado nas proximidades do experimento, a uma altura aproximada de 1,5 m, com sua face voltada para o sul.

Foram utilizados dois sistemas de medição:

- No primeiro, foi utilizado o sistema padrão, no qual se fez o uso de um temohigrógrafo da marca SATO®, modelo Sigma II, com registro da umidade relativa e temperatura em tambor, com sensor de cabelo e à metal, para registros diários e permanentes da temperatura (-15 a 40°C), e umidade relativa (0 a 100%) e um termômetro de máxima e mínima, também com registros diários. Foi instalado nas proximidades do abrigo, um termômetro de globo negro para tomada de Tgn externa.
- No segundo, as medidas foram feitas com registro automatizado, em que foi utilizado um datalogger da marca HOBO®, modelo H08-032-08, com resolução de 0,1°C e acurácia de ±0,2°C e faixa de mensuração de –30°C a 50°C para a temperatura e acurácia de ±3% e faixa de mensuração de 0% a 100% para umidade relativa. O aparelho foi programado para coletar dados a cada 15 minutos, continuamente, 24 horas por dia, em todo o período experimental.

### 3.8.2. Qualidade do ar no interior dos galpões

A qualidade do ar foi avaliada nos mesmos horários dos índices de conforto térmico, tendo sido coletados valores instantâneos de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ($CO_2$) e amônia ($NH_3$), em ppm, com o objetivo de avaliar a qualidade do ar no interior das instalações.

As medições foram realizadas a cada duas horas na primeira semana de vida das aves (devido ao interesse em garantir boa qualidade do ar e a preocupação com a sensibilidade das aves nessa idade). Na segunda e terceira semanas de vida das aves, as medições foram feitas a cada três horas, devido ao conhecimento da concentração média dos gases no interior dos aviários, e também devido a dificuldade e a quantidade de tempo gasto para realizar as coleta dos dados. As medições foram feitas durante as 24 horas do dia, a 0,30 m de altura (nível respiratório das aves).

Os dados de CO foram coletados utilizando um sensor da marca Testo, modelo 330, de "princípio eletroquímico", com resolução de 1ppm e acurácia de ±50 ppm que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 10.000 ppm.

Os dados de $CO_2$ foram coletados utilizando um sensor da marca Testo, modelo 330, de "princípio infravermelho", com resolução de 1ppm e acurácia de ±1 ppm que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 100 ppm.

As concentrações de amônia foram medidas utilizando um sensor da marca Quest, modelo Safecheck 100, de "princípio eletroquímico", com resolução de 1 ppm e acurácia de ±1 ppm que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 50 ppm, cuja célula foi calibrada em uma empresa cadastrada pelo Inmetro.

### 3.9. Desempenho produtivo das aves

A avaliação de desempenho das aves foi feita utilizando-se os índices zootécnicos semanais de ganho de peso (GP), peso médio (PM), consumo

de ração (CR), conversão alimentar (CA) e taxa de mortalidade (TM). Esses valores foram obtidos conforme descrito no item 2.3.

### 3.10. Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o programa SAEG 9.0 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas), desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O experimento foi montado segundo o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os sistemas de aquecimento e nas subparcelas os horários, no delineamento em blocos casualisados (D.B.C.) com 7 repetições (dias). Os dados foram analisados por meio de análise de variância e análise de regressão. Para o fator qualitativo (tratamentos), as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (horários) os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste "t", adotando-se o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação ($R^2$=S.Q.Regressão/S.Q.Horas).

Independentemente das interações tratamento x hora ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento das mesmas devido ao interesse específico do estudo.

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1. Propriedades avaliadas do combustível

### 4.1.1. Umidade

Os resultados da umidade percentual de cada carga de lenha de eucalipto recebida utilizada como combustível nos testes, conforme metodologia descrita no item 3.6.1, estão apresentados no Quadro 07.

Quadro 07: Umidade percentual (base úmida) da lenha de eucalipto usada como combustível, em cada uma das cargas recebidas na granja

| | 1ª carga recebida | 2ª carga recebida | 3ª carga recebida | Média |
|---|---|---|---|---|
| Umidade (%) | 15,06 | 39,80 | 29,91 | 28,26 |

Como pode-se observar pelo Quadro 07, a umidade da lenha de eucalipto variou muito a cada carga nova deste material que chegava para ser utilizada como combustível, indicando assim problemas de heterogeneidade do combustível. Observou-se que a variação na umidade ocorreu devido ao uso de lenha recém cortada, que dificulta o processo de gaseificação em alguns momentos. O problema foi contornado com a mistura da lenha verde com lenha seca, obtendo-se umidade média de 28,26% b.u., valor este, dentro das exigências para o funcionamento do sistema, ou seja, menor do que 30% base úmida.

### 4.1.2. Poder calorífico

Para a análise do poder calorífico da lenha de eucalipto foram coletadas um total de 4 amostras, sendo 2 em cada galpão. Cada uma dessas amostras foi resultado da homogeinização de material de 3 pontos de coleta.

Conforme laudo emitido pelo Laboratório de Energia da Madeira/DEF/UFV, o poder calorífico superior para a amostra de lenha usada no gaseificador atingiu o valor médio de 4.699,34 $cal.g^{-1}$ e para a lenha usada na fornalha 4.735,25 $cal.g^{-1}$. Alterando-se a unidade, onde 1 cal equivale a 4,1868 joule, então o PCS da lenha de eucalipto utilizada nos testes foi equivalente a 19.675,19 e 19.825,54 $kJ.kg^{-1}_{combustível\ seco}$, para o gaseificador e a fornalha respectivamente. Este valor está próximo dos citados na literatura (Quadro 4) para a lenha de eucalipto. Como a lenha tinha determinado teor de água, aplicou-se as equações 4 e 5 (item 2.8.2.) a fim de se obter o PCI e o $PCI_u$ da lenha. Obteve-se como resultado para o PCI 18.357,59 $kJ.kg^{-1}_{combustível\ seco}$ para a lenha usada no gaseificador e 18.507,94 $kJ.kg^{-1}_{combustível\ seco.}$ Para o $PCI_{úmido}$ foram encontrados $PCI_u$ 12.480,19 e 12.588,05 $kJ.kg^{-1}_{combustível\ úmido}$ para a lenha usada no tratamento com gaseificador e fornalha respectivamente.

### 4.1.3. Granulometria e massa específica

Na determinação da granulometria do combustível foi verificado o diâmetro e o comprimento dos tocos de lenha de eucalipto. O diâmetro e o comprimento da lenha picada para o uso do gaseificador variaram de 5 à 20 cm e 20 a 40 cm, respectivamente. Já a lenha usada na fornalha apresentava comprimento de 1 m e diâmetro idêntico ao da lenha usada no gaseificador.

A determinação da massa específica, devido a falta de equipamentos, foi realizada somente para a lenha com maior comprimento (usada na fornalha). A lenha foi amontoada formando uma pilha, de modo a facilitar a obtenção das dimensões dos lados, para dessa forma se calcular o volume. Em seguida, procedeu-se a pesagem da lenha contida naquele

volume, para assim, calcular-se a massa específica (item 2.8.4.), que apresentou um resultado de 412 kg.m$^{-3}$.

Para a determinação da massa específica da madeira usada no gaseificador, mediu-se a massa de lenha consumida diariamente no gaseificador. Para se proceder tal medição, a madeira queimada era quantificada em carrinhos de mão, onde foi feita uma média da massa contida em cada carrinho (38,04 kg), calculando a massa de lenha consumida diariamente e a massa total no final da pesquisa, Quadro 08.

Quadro 08: Massa de lenha consumida diariamente no aquecimento feito com o sistema de gaseificação

| **Semana 1** | | **Semana 2** | | **Semana 3** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dias | Consumo (kg) | Dias | Consumo (kg) | Dias | Consumo (kg) |
| 5 | 494,52 | 12 | 304,32 | 19 | 304,32 |
| 6 | 532,56 | 13 | 380,40 | 20 | 266,28 |
| 7 | 266,28 | 14 | 190,20 | 21 | 266,28 |
| 8 | 342,36 | 15 | 304,32 | 22 | 228,24 |
| 9 | 456,48 | 16 | 342,36 | 23 | 152,16 |
| 10 | 228,24 | 17 | 266,28 | 24 | 190,2 |
| 11 | 342,36 | 18 | 228,24 | 25 | 152,16 |
| **Total** | 2.662,8 | | 2.016,12 | | 1.559,64 |
| | | | **Total final** | | **6.238,56** |

Como pode ser observado pelo Quadro 08, no decorrer das semanas houve um decréscimo no consumo de lenha, chegando o gaseificador a consumir, na terceira semana, apenas 59% da lenha consumida na primeira. Isso se deve ao menor requerimento de calor pelas aves, o que possibilitou temperaturas mais baixas no interior do galpão.

### 4.1.4. Consumo de lenha para o aquecimento

Os valores de consumo de lenha, em kg, para cada tratamento são apresentados na Figura 09.

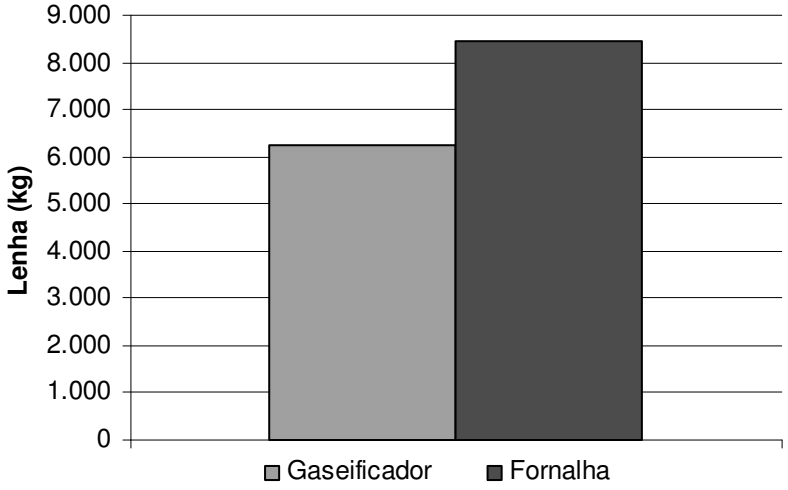


Figura 09: Lenha consumida em cada um dos tratamentos (Gaseificador e Fornalha) durante o período experimental, 21 dias, utilizando gaseificador e fornalha

A Figura 09 mostra que a quantidade de lenha gasta para o tratamento com gaseificador esteve bem abaixo em relação ao tratamento com a fornalha. Enquanto a fornalha precisou de 8.446 kg (≈20,5 $m^3$) de lenha para aquecer o galpão, para o gaseificador foi necessário apenas 6.239 kg, o que corresponde a uma economia de 26% em relação a fornalha. Essa diferença é explicada pelo tipo de processo usado: enquanto na fornalha o aquecimento é indireto e muito calor é perdido pela chaminé, no gaseificador as perdas são mínimizadas pois, quase toda energia da madeira é enviada para o interior do galpão.

### 4.1.5. Consumo de energia

No Quadro 09 são apresentados os valores de consumo de energia nos aviários, em cada um dos tratamentos.

Quadro 09: Consumo de energia nos aviários para cada um dos diferentes tratamentos (Gaseificador e Fornalha)

| | Quant. de lenha (kg) | $PCI_{úmido}$ (kg/kJ) | Energia da lenha (MJ) | Energia redução das dimensões (MJ) | Energia total (MJ) |
|---|---|---|---|---|---|
| Gaseificador | 6.239 | 12.480 | 77.863 | 559,86 | 78.423 |
| Fornalha | 8.446 | 12.588 | 106.318 | 0,00 | 106.318 |

De acordo com o Quadro 09, o sistema de aquecimento com gaseificador consumiu no total 78.423 MJ de energia, sendo 77.863 MJ referentes à 6.239 kg de lenha e 559,86 MJ referentes a 13,33 litros de gasolina para efetuar cortes na madeira visando a redução das suas dimensões. Isto correspondeu a 73,6% da quantidade de energia gasta pelo sistema com fornalha que foi de 106.318MJ.

### 4.2. Avaliação dos índices de conforto térmico ambiente

#### 4.2.1. Primeira semana de vida das aves

Os dados médios diários e as médias semanais de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em função dos horários observados (H) no interior dos aviários submetidos aos tratamentos experimentais de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e aquecimento convencional por fornalha (Fornalha), por fase de desenvolvimento (semana de vida das aves), encontram-se relacionadas no Quadro 10, onde se verifica que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Quadro 10. Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por fornalha (Fornalha) e por gaseificador (Gaseificador) e dos horários de observação, em relação a temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em galpões avícolas, com coeficiente de variação (CV), para a primeira semana de vida das aves

| **Fonte de Variação** | **Graus de Liberdade** | **Quadrado Médio** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **TBS** | **UR** | **ITGU** | **CTR** |
| Bloco | 6 | 83,24301 | 266,4107 | 334,2102 | 3.665,473 |
| Tratamento (T) | 1 | 16,61315$^{ns}$ | 120,8695$^{ns}$ | 158,3407$^{ns}$ | 267,2278$^{ns}$ |
| Resíduo (a) | 6 | 14,17913 | 38,59184 | 62,11622 | 540,9318 |
| Horário (H) | 11 | 3,973289$^{ns}$ | 101,6330$^{ns}$ | 8,914506$^{ns}$ | 245,6372$^{ns}$ |
| H x T | 11 | 3,166940$^{ns}$ | 16,85298$^{ns}$ | 8,585706$^{ns}$ | 232,0093$^{ns}$ |
| Resíduo (b) | 132 | 5,138182 | 55,26735 | 6,935855 | 231,0748 |
| CV (%) | | 7,54 | 15,02 | 3,43 | 3,17 |

$^{ns}$ não significativo pelo teste F ao nível de 5 % de probabilliade

Os valores médios para os resultados de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em função dos sistemas de aquecimento com Gaseificador e convencional por Fornalha e horários observados, para a primeira semana de vida das aves, encontra-se no Quadro 11.

Quadro 11: Valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em aviários submetidos a dois tipos de aquecimento estudados, Fornalha e Gaseificador, para a primeira semana de vida das aves

| | **TBS** | | **UR** | | **ITGU** | | **CTR** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horário | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR |
| 0 | 30,59a | 30,18a | 50,40a | 45,88a | 79,14a | 74,78b | 485,48a | 478,66a |
| 2 | 29,93a | 30,88a | 46,28a | 44,86a | 77,59a | 74,90a | 480,78a | 479,66a |
| 4 | 30,49a | 30,40a | 46,61a | 45,68a | 78,20a | 74,58a | 481,33a | 477,56a |
| 6 | 31,17a | 30,32a | 47,14a | 46,29a | 79,37a | 74,57b | 490,39a | 477,36a |
| 8 | 29,16a | 30,64a | 55,80a | 51,99a | 77,47a | 76,97a | 472,82a | 487,61a |
| 10 | 30,09a | 31,26a | 51,55a | 50,53a | 78,54a | 78,36a | 481,59a | 492,67a |
| 12 | 30,61a | 30,03a | 51,98a | 49,76a | 78,30a | 77,44a | 480,35a | 484,48a |
| 14 | 29,67a | 29,97a | 48,96a | 48,32a | 77,77a | 76,59a | 478,33a | 479,87a |
| 16 | 30,09a | 29,62a | 49,11a | 48,67a | 78,03a | 76,11a | 479,00a | 477,41a |
| 18 | 28,41a | 30,72a | 52,58a | 48,24a | 76,74a | 75,71a | 472,33a | 478,17a |
| 20 | 29,09a | 30,32a | 52,18a | 47,91a | 76,82a | 75,33a | 471,49a | 478,43a |
| 22 | 28,23a | 29,57a | 54,82a | 52,54a | 75,96a | 75,28a | 466,05a | 477,70a |
| **Média** | **29,75a** | **30,38a** | **50,35a** | **48,65a** | **77,83a** | **75,89a** | **478,33a** | **480,85a** |

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste t

Verifica-se pelo Quadro 10 que os valores médios dos índices de conforto térmico ambiente não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Gaseificador e Fornalha), na interação horário x tratamentos e entre os horários de observação (exceto o ITGU às 0 e 6h), na primeira fase de desenvolvimento das aves.

Isso demonstra que ambos sistemas de aquecimento mantiveram a uniformidade de temperatura durante todo o dia proporcionando as aves índices de conforto similares. Verifica-se, também pelo Quadro 11 que, mesmo que não estatisticamente diferente, o sistema com gaseificador proporcionou temperaturas médias mais elevadas em todos os horários de observação em relação ao sistema com fornalha. Também foi observado que os valores médios horários de UR e ITGU estiveram superiores no tratamento com gaseificador.

#### 4.2.1.1. Temperatura de bulbo seco (TBS)

Na Figura 10 estão representados os resultados dos valores médios de temperatura do ar observados nos ambientes interno e externo referentes à primeira semana, correspondendo aos tratamentos Gaseificador e Fornalha.

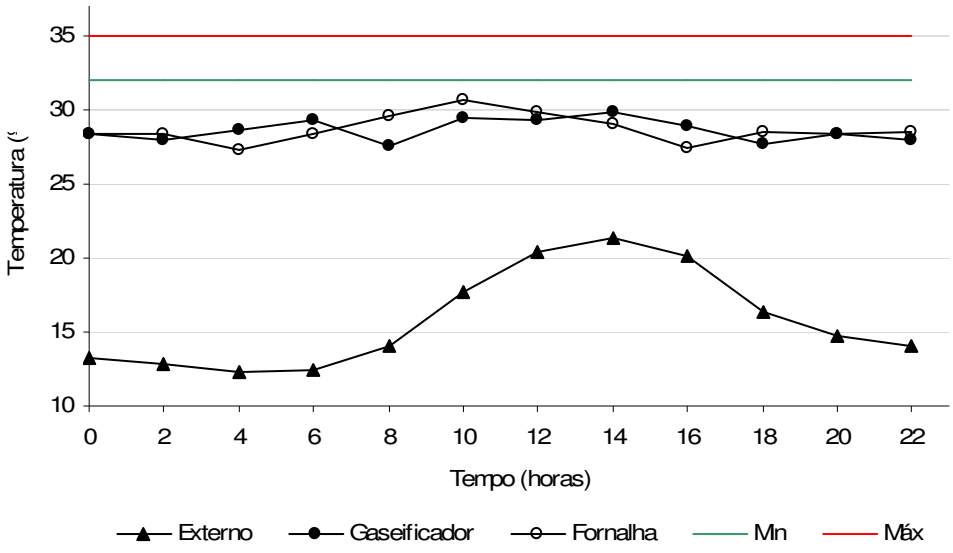


Figura 10: Médias de temperatura do ar no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das

aves. As linhas de temperatura máxima e mínima delimitam a faixa de temperaturas confortáveis para as aves na idade mencionada

Observa-se pela Figura 10, que ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade da temperatura ambiente em relação ao ambiente externo, no qual esta assumiu valores muito indesejados em relação àqueles desejáveis ao conforto térmico animal. Isso se justifica porque na primeira semana de vida das aves a temperatura a ser mantida no interior da instalação é bem elevada em relação à temperatura externa. Com isso, os aquecedores permaneciam ligados quase em tempo integral para proporcionar as condições de conforto exigidas, fazendo com que esses índices não oscilassem muito. Nos dados observados percebe-se um leve aumento desses índices nos horários próximos ao meio dia devido ao aquecimento das instalações pela radiação solar. Os sistemas de aquecimento proporcionaram a elevação da temperatura ambiente a até 18 ºC em relação ao ambiente externo.

Os valores de temperatura do ar ambiente durante a noite, para a primeira semana experimental, se mantiveram abaixo dos recomendados como sendo de conforto para as aves com até uma semana de vida. Estes valores são entre 32 a 35°C segundo CURTIS (1983).

PEREIRA (2006), em estudo nos mesmos galpões também observou que a temperatura média dos aviários durante o manejo inicial de vida das aves esteve abaixo da recomendada. O mesmo foi observado por MENEGALI (2005) em estudo realizado na região de Videira-SC, entre julho e setembro de 2004, demonstrando que é prática comum de empresas avícolas e integrações a criação de frangos a temperaturas abaixo da média recomendada. Isso pode ser associado à dificuldade em fornecer calor e isolar o ambiente, devido ao uso de equipamentos mal dimensionados e temperaturas externas abaixo das esperadas para a época, ou simplesmente uma forma que os produtores encontram de economizar energia, e, consequentemente dinheiro.

#### 4.2.1.2. Umidade relativa do ar (UR)

Na Figura 11 são representados os resultados médios de umidade relativa do ar (UR), observados nos ambientes interno e externo referente à primeira semana de vida das aves, correspondentes aos dois tratamentos, Gaseificador e Fornalha.

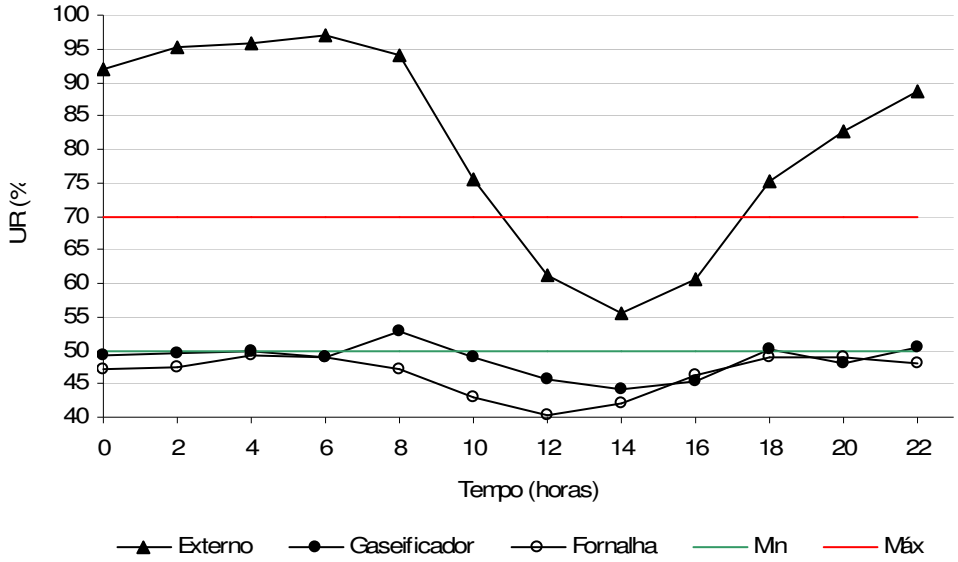


Figura 11: Médias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves. As linhas de UR máxima e mínima delimitam a faixa de UR confortável para as aves na idade mencionada

Verifica-se pela Figura 11 que, durante a primeira semana de observação, ambos sistemas de aquecimento apresentaram comportamento semelhante quanto à umidade relativa (UR). Para o tratamento Gaseificador a maior UR aconteceu as 8:00 horas e no período noturno. Para o tratamento Fornalha a maior média ocorreu as 22:00 horas, mas com o período de de maior UR ocorrendo entre 8:00 e 12:00 horas. Para ambos os tratamentos os menores valores de UR ocorreram em torno do meio dia. Percebe-se, pela Figura 12, que no galpão com gaseificador a UR esteve a maior parte do tempo acima daquela registrada no galpão com fornalha. Observa-se pela Figura 12, que ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade na umidade relativa do ar ambiente em relação ao ambiente externo, no qual esta

assumiu valores muito altos em relação àqueles desejáveis ao conforto térmico animal.

Quanto a UR do ar no período noturno, os valores médios observados estiveram entre 45 e 55% para ambos os tratamentos, com os menores valores ocorrendo em torno das 02:00 horas da manhã. As médias gerais da primeira semana foram 50,4 e 48,7%, para os tratamentos Gaseificador e Fornalha, respectivamente. Dessa forma, a umidade relativa do ar permaneceu abaixo da recomendada em parte do tempo, que deve ficar entre 50 e 70% (BAÊTA E SOUZA, 1997 E TINÔCO, 2001). FURTADO et al., (2006) em estudo realizado em Campina Grande-PB, encontrou resultados similares para as horas mais quentes do dia.

#### 4.2.1.3. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Com base no Quadro 11, observa-se que na primeira semana de vida das aves, na maioria dos horários, não houve diferença entre os valores médios de ITGU entre os diferentes tratamentos. As diferenças significativas entre os dois tipos de aquecimento ocorreram apenas as 00:00 e 06:00 horas.

Na Figura 12 encontram-se ilustrados as médias dos valores de ITGU, em função dos horários de observação, para a primeira semana de vida das aves para os dois tratamentos (Gaseificador e Fornalha).

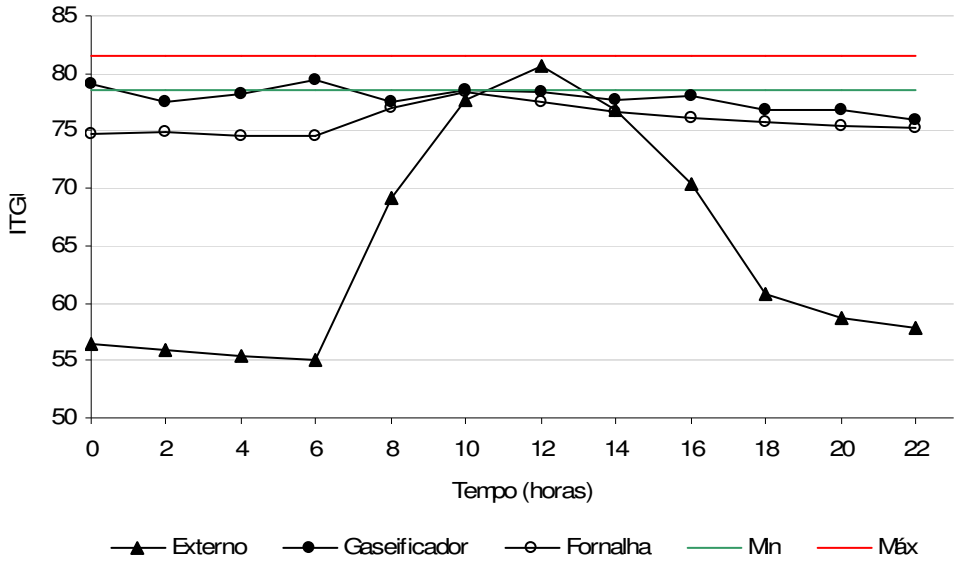


Figura 12: Médias dos índices de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves. As linhas de ITGU máximo e mínimo delimitam a faixa de ITGU confortável para as aves na idade mencionada

De acordo com a Figura 12, verifica-se que, para ambos os sistemas de aquecimento os valores do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) estimados para o interior dos aviários tiveram comportamento diferente entre os tratamentos apesar de não diferirem significativamente. Observa-se ainda que em valores absolutos o tratamento Gaseificador propiciou médias superiores de ITGU entre todos os horários do dia. No tratamento Fornalha os maiores valores de ITGU ocorreram em torno do meio dia e decresceram no período noturno. Observa-se pela Figura 12, que ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade de ITGU no ambiente interno em relação ao ambiente externo. Em ambos os sistemas de aquecimento de aves, os valores de ITGU estimados não foram adequados para a produção de aves para a primeira semana de vida destes animais, que seriam entre 78,5 e 81,6 segundo TEIXEIRA (1983).

Em apenas dois momentos (0:00 e 6:00 horas) foi medido no ambiente com Gaseificador ITGU na faixa recomendada, indicando, então,

que apenas neste horário o gaseificador proporcionou as condições de conforto adequadas.

#### 4.2.1.4. Carga térmica radiante (CTR)

De acordo com o Quadro 11, não houve diferença significatica entre os valores médios dos distintos sistemas de aquecimento na primeira semana de vida das aves.

Na Figura 13 encontram-se ilustrados as médias dos valores de CTR para os diferentes tratamentos (Gaseificador e Fornalha), em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves.

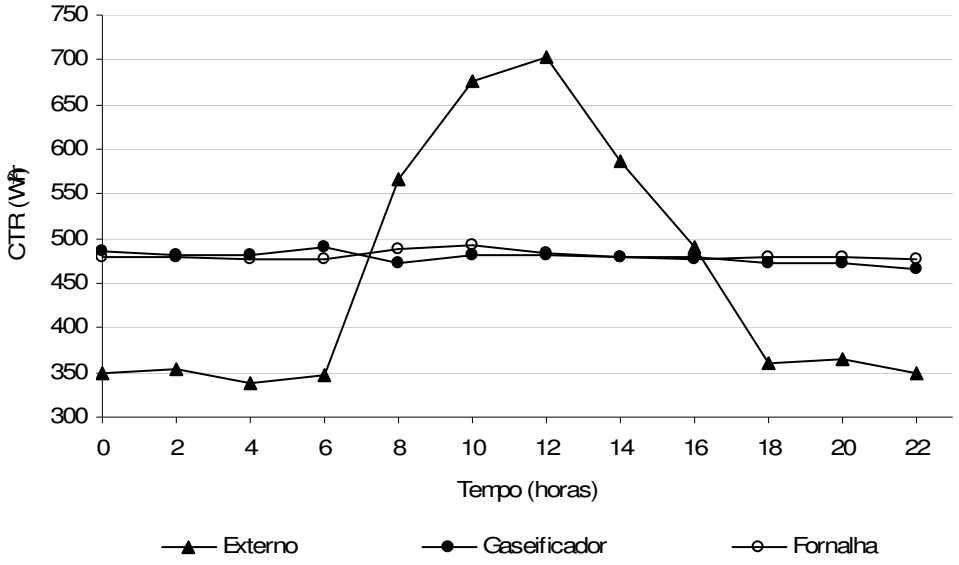


Figura 13: Médias da carga térmica de radiação (CTR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a primeira semana de vida das aves

Observa-se pela Figura 13 que apesar de não ter havido diferenças significativas na análise da CTR (Quadro 10), houve variações entre os tratamentos. Para ambos os tratamentos, os maiores valores da CTR ocorreram no período da manhã, às 6:00 horas para o Gaseificador e às 8:00 horas para Fornalha. A variação dos valores médios de CTR neste experimento foi menor em relação aos encontrados por PEREIRA (2006), MORAES et al., (1999) e FURTADO et al., (2006), indicando que os sistemas de aquecimento estudados possibilitaram uma maior uniformidade

do ambiente térmico. Observa-se ainda pela Figura 16, que ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade da CTR no ambiente interno em relação ao ambiente externo, que oscilou muito.

### 4.2.2. Segunda semana de vida das aves

O resumo da análise de variância com os resultados de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em função dos sistemas de aquecimento por Gaseificador e convencional por Fornalha e horários observados, para a segunda semana de vida das aves, que ocorreu de 12 à 18 de junho de 2006, encontra-se no Quadro 12.

Quadro 12. Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por fornalha e por gaseificador e dos horários de observação, em relação a temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em galpões avícolas, com o coeficiente de variação (CV), para a segunda semana de vida das aves

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | TBS | UR | ITGU | CTR |
| Bloco | 6 | 5,65 | 331,73 | 4,60 | 303,84 |
| Tratamento (T) | 1 | 2,87$^{ns}$ | 19,98$^{*}$ | 798,10$^{**}$ | 577,35$^{*}$ |
| Resíduo (a) | 6 | 2,53 | 4,83 | 2,96 | 113,62 |
| Horário (H) | 7 | 3,00$^{**}$ | 235,14$^{**}$ | 10,19$^{**}$ | 243,66$^{**}$ |
| H x T | 7 | 1,79$^{ns}$ | 11,83$^{ns}$ | 9,88$^{**}$ | 111,47$^{*}$ |
| Resíduo (b) | 84 | 0,97 | 14,40 | 1,22 | 39,22 |
| CV (%) | | 3,46 | 7,34 | 1,49 | 1,34 |

$^{ns}$ não significativo pelo teste F;
$^{*}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;
$^{**}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Os valores médios para os resultados de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), para os dois tratamentos, Gaseificador e Fornalha, para a segunda semana de vida encontram-se no Quadro 13.

Quadro 13: Valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em aviários submetidos a dois tipos de aquecimento estudados, Fornalha e Gaseificador, para a segunda semana de vida das aves

| | **TBS** | | **UR** | | **ITGU** | | **CTR** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horário | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR |
| 0 | 28,25a | 29,05a | 53,46a | 51,40a | 76,41a | 70,89b | 469,46a | 468,63a |
| 3 | 28,59a | 28,71a | 53,97a | 52,26a | 76,91a | 70,05b | 471,49a | 465,06a |
| 6 | 29,05a | 27,69b | 52,87a | 54,04a | 77,05a | 68,79b | 472,17a | 458,06a |
| 9 | 28,42a | 27,80a | 55,74a | 55,37a | 76,30a | 72,35b | 466,81a | 471,51a |
| 12 | 29,67a | 29,11a | 46,57a | 42,94a | 77,73a | 73,70b | 479,79a | 475,76a |
| 15 | 28,70a | 28,60a | 45,80a | 45,63a | 75,78a | 72,73b | 470,38a | 465,97a |
| 18 | 28,36a | 27,30a | 52,93a | 54,87a | 76,30a | 70,85b | 469,05a | 459,83b |
| 21 | 28,25a | 28,48a | 55,53a | 53,60a | 76,22a | 70,65b | 466,85a | 464,85a |
| **Média** | **28,66a** | **28,34a** | **52,11a** | **51,26b** | **76,59a** | **71,25b** | **470,75a** | **466,21b** |

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste t

#### 4.2.2.1. Temperatura de bulbo seco (TBS)

Verifica-se pelo Quadro 12 que os valores de temperatura apresentaram diferença significativa somente entre os horários de observação, na segunda fase de desenvolvimento.

Na Figura 14 estão representados os resultados dos valores médios de temperatura do ar observados nos ambientes interno e externo referentes à segunda semana, correspondendo aos tratamentos Gaseificador e Fornalha.

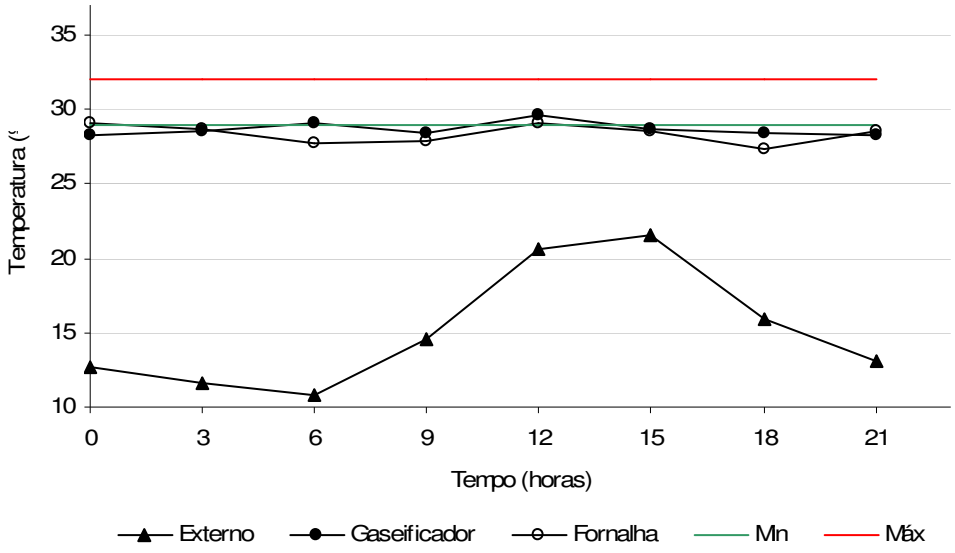


Figura 14: Médias de temperatura do ar no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves. As linhas de temperatura máxima e mínima delimitam a faixa de temperaturas confortáveis para as aves na idade mencionada

Observa-se na Figura 14 que o comportamento para o parâmetro temperatura não foi semelhante entre dois tratamentos, com os menores valores registrados as 21:00 horas para o Gaseificador e as 18:00 horas para a Fornalha. Os maiores valores observados para a temperatura de bulbo seco foram em torno das 12:00 horas para ambos os tratamentos. Ainda pela Figura 14, verifica-se que ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade da

temperatura ambiente em relação ao ambiente externo, semelhante ao ocorrido na primeira semana de observações. Nessa fase, a temperatura a ser mantida no interior da instalação é inferior a temperatura da primeira semana. Nesse horário, as cortinas eram abertas para evitar que o galpão aquecesse demais e para proporcionar renovação do ar.

Os valores de temperatura do ar ambiente durante a noite, para a segunda semana experimental, se mantiveram abaixo dos recomendados como sendo de conforto para as aves na segunda semana de vida. Estes valores são entre 29 a 32°C segundo CURTIS (1983). Mesmo com diminuição da quantidade de calor necessária as aves na segunda semana, o aquecimento não conseguiu atingir os níveis ótimos de temperatura do ar. Este fato deve-se ao inverno rigoroso que ocorreu na região de Barbacena no período do experimento e, ainda, pelo manejo adotado além de fugas de calor por pontos onde não se conseguiu vedação total, como furos nas lonas de vedação lateral e de forração, dentre outros.

#### 4.2.2.2. Umidade relativa (UR)

Observa-se pelo Quadro 13 que os valores de UR dos aviários somente não apresentaram diferença significativa para a interação horário x tratamentos.

Na Figura 15 são representados os resultados médios de umidade relativa do ar (UR), observados nos ambientes interno e externo referente à segunda semana de vida das aves, correspondentes aos dois tratamentos, Gaseificador e Fornalha.

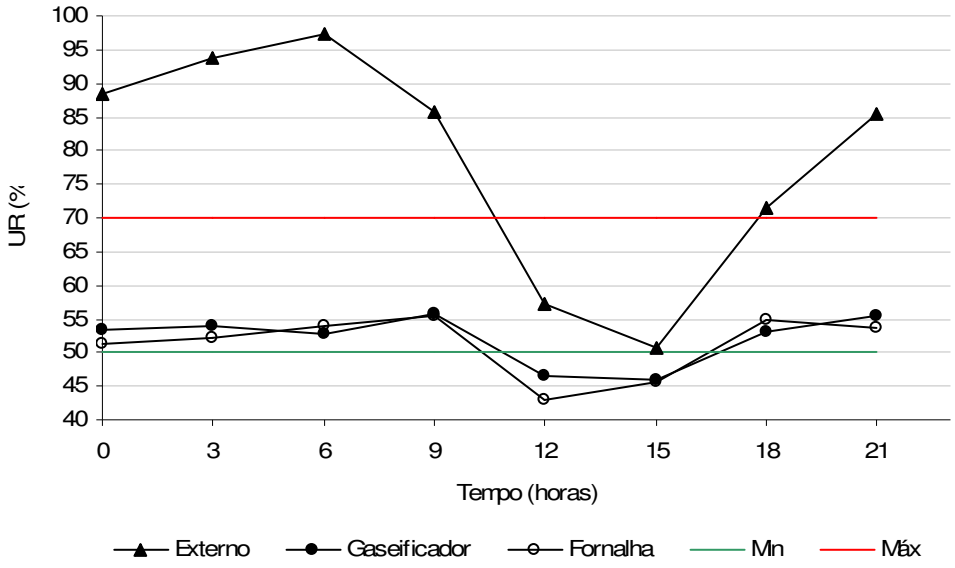


Figura 15: Médias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves. As linhas de UR máxima e mínima delimitam a faixa de UR confortável para as aves na idade mencionada

Verifica-se pela Figura 15 que os dois tratamentos, na segunda semana do experimento, apresentaram um comportamento semelhante quanto à umidade relativa do ar (UR). Para ambos os tratamentos, a maior UR aconteceu as 9:00 horas da manhã e também no período noturno e os menores valores de UR ocorreram durante a tarde. Percebe-se pela Figura 15, que no galpão com gaseificador a UR esteve a maior parte do tempo acima daquela registrada no galpão com fornalha. Também é verificado pela Figura 15 que, da mesma forma que na primeira semana, os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade da UR dos aviários em relação ao ambiente externo

De acordo com o observado na Figura 15, os valores observados de UR estiveram entre 50 e 55% para ambos os tratamentos, com os menores valores ocorrendo em torno das 00:00 horas. Assim, a umidade permaneceu dentro da recomendada, que deve ficar entre 50 e 70% (BAÊTA E SOUZA, 1997 e TINÔCO, 2001). FURTADO et al., (2006) em estudo realizado em Campina Grande-PB, encontrou resultados semelhantes para as horas mais quentes do dia.

#### 4.2.2.3. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Para a variável ITGU observou-se diferença significativa entre os tratamentos (Gaseificador e Fornalha), na interação horário x tratamentos e entre os horários de observação, na segunda fase de desenvolvimento das aves (Quadro 12).

Mesmo apresentando significância na interação entre tratamento e horários de observação, verificou-se, (Quadro 13), que as médias de ITGU do tratamento com gaseificador foram sempre superiores estatisticamente as do tratamento com fornalha, indicando que houve uma melhor eficiência do gaseificador na promoção do conforto térmico ambiente. Contudo, nenhum dos sistemas, possibilitou valores de ITGU desejáveis, ou seja, na segunda semana de vida das aves os valores de ITGU foram em ambos os tratamentos inferiores a 78,5 o que indica desconforto para as aves, segundo TEIXEIRA (1983). Acredita-se que uma das prováveis causas desta falha advém do manejo inapropriado dos sistemas de aquecimento.

Na Figura 16 encontram-se ilustrados as médias dos valores de ITGU, em função dos horários de observação, para a segunda semana de vida das aves para os dois tratamentos (Gaseificador e Fornalha).

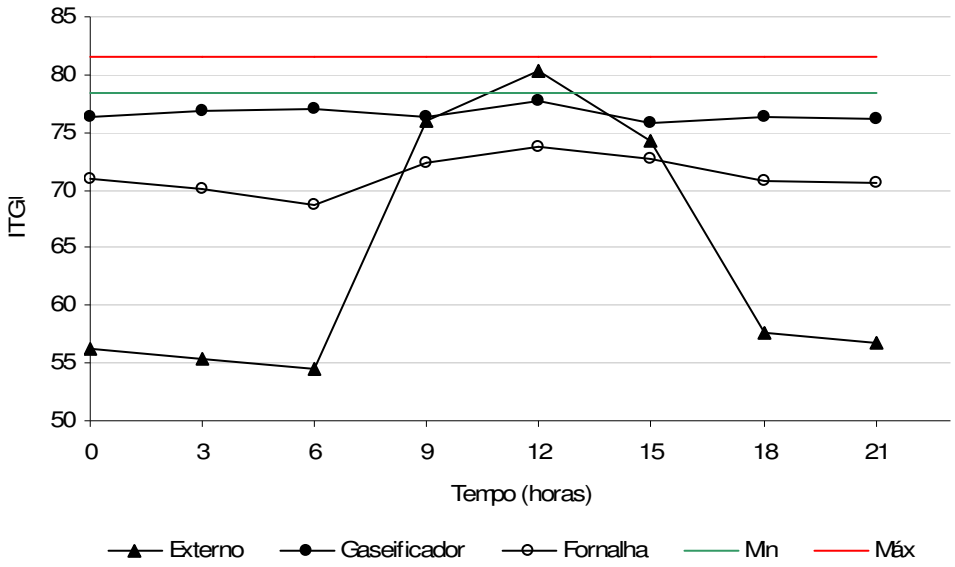


Figura 16: Médias dos índices de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves. As linhas

de ITGU máximo e mínimo delimitam a faixa de ITGU confortável para as aves na idade mencionada

De acordo com a Figura 16, o comportamento do ITGU da segunda semana de vida das aves foi diferente entre os tratamentos. Observa-se ainda que, no galpão aquecido com gaseificador, os valores médios superiores de ITGU foram superiores aqueles obtidos no galpão com fornalha. As maiores médias de ITGU ocorreram em torno do meio dia com uma redução no período noturno. Como na primeira semana de vida das aves, houve grande diferença no ITGU interno dos aviários em relação ao ambiente externo.

Verifica-se, pela Figura 16, que os valores médios de ITGU no período noturno da segunda semana de desenvolvimento estão bem abaixo dos índices adequados para produção de aves indicados por TEIXEIRA (1983). Observa-se também que o tratamento Fornalha esteve com as médias bem abaixo do tratamento Gaseificador, demonstrando que, para obtenção das mesmas condições de conforto, os gastos com lenha seriam ainda maiores no tratamento com fornalha, além de indicar que os frangos sofreram maior desconforto térmico.

#### 4.2.2.4. Carga térmica radiante (CTR)

Para o índice CTR houve diferença significativa entre os tratamentos (Gaseificador e Fornalha), na interação horário x tratamentos e entre os horários de observação, na segunda fase de desenvolvimento das aves (Quadro 12).

De acordo com o Quadro 13, em vários momentos de observação as médias da CTR nos dois tratamentos foram iguais estatisticamente. Porém, verifica-se que no galpão aquecido com gaseificador, as médias sempre estiveram acima das médias do tratamento com fornalha, exceto às 9:00 horas.

Na Figura 17 encontram-se ilustrados as médias dos valores de CTR para os diferentes tratamentos (Gaseificador e Fornalha), em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves.

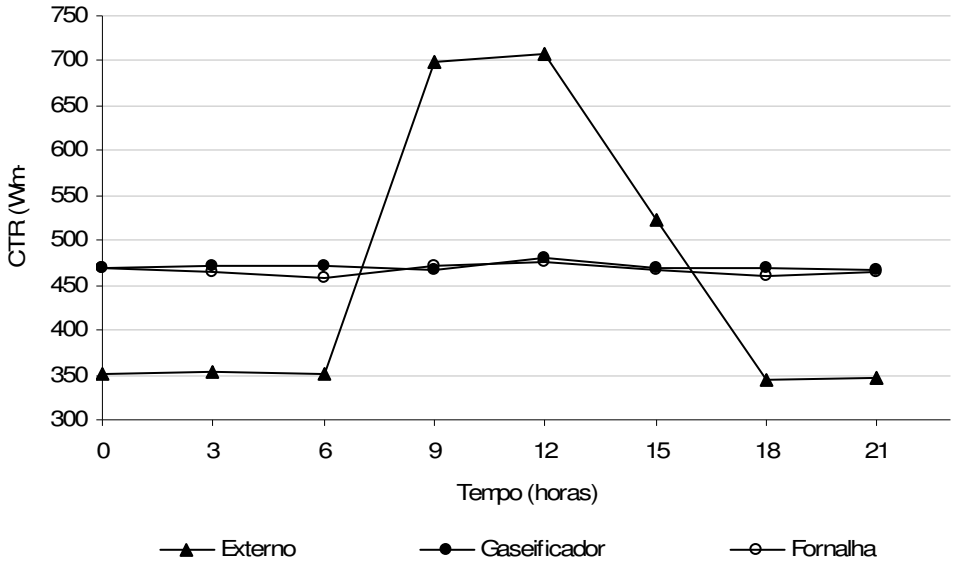


Figura 17: Médias da carga térmica de radiação (CTR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a segunda semana de vida das aves

Para ambos os tratamentos, os maiores valores de CTR ocorreram ao meio dia, e os menores às 6:00 horas para Fornalha e às 9:00 horas para o Gaseificador.

### 4.2.3. Terceira semana de vida das aves

O resumo da análise de variância com os resultados de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), em função dos sistemas de aquecimento convencional por fornalha e por gaseificador, em função dos horários observados, para a terceira semana de vida das aves, que ocorreu de 19 à 25 de junho de 2006, encontra-se no Quadro 14.

Quadro 14: Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por fornalha (Fornalha) e por gaseificador (Gaseificador) e dos horários de observação, em relação a temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a terceira semana de vida das aves

| **Fonte de Variação** | **Graus de Liberdade** | **Quadrado Médio** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **TBS** | **UR** | **ITGU** | **CTR** |
| Bloco | 6 | 10,34 | 167,22 | 8,45 | 299,66 |
| Tratamento (T) | 1 | 29,12$^{*}$ | 248,12$^{ns}$ | 852,88$^{**}$ | 2.073,22$^{**}$ |
| Resíduo (a) | 6 | 4,61 | 81,55 | 5,41 | 195,07 |
| Horário (H) | 7 | 4,21$^{ns}$ | 525,91$^{**}$ | 10,48$^{**}$ | 340,62$^{**}$ |
| H x T | 7 | 2,27$^{ns}$ | 15,34$^{ns}$ | 1,76$^{ns}$ | 55,23$^{ns}$ |
| Resíduo (b) | 84 | 2,12 | 18,34 | 2,23 | 80,79 |
| CV (%) | | 5,64 | 6,79 | 2,07 | 1,99 |

$^{ns}$ não significativo pelo teste F;
$^{*}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;
$^{**}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Os valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR), para os dois tratamentos, Fornalha e Gaseificador, para a terceira semana de vida das aves encontram-se no Quadro 15.

Quadro 15: Valores médios de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica radiante (CTR) em aviários submetidos a dois tipos de aquecimento estudados, Fornalha e Gaseificador, para a terceira semana de vida das aves

| | **TBS** | | **UR** | | **ITGU** | | **CTR** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horário | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR |
| 0 | 26,47a | 25,91a | 66,49a | 63,43a | 74,98a | 68,81b | 456,80a | 449,02a |
| 3 | 25,96a | 24,40a | 68,60a | 66,59a | 74,20a | 67,53b | 452,00a | 440,42b |
| 6 | 24,79a | 25,18a | 70,57a | 67,35a | 73,35a | 68,29b | 448,06a | 445,53a |
| 9 | 26,80a | 26,18a | 67,20a | 59,67b | 75,67a | 70,13b | 459,83a | 455,04a |
| 12 | 26,73a | 24,81b | 55,95a | 54,34a | 75,10a | 70,40b | 462,85a | 451,30b |
| 15 | 27,07a | 25,35b | 53,09a | 51,39a | 75,15a | 70,47b | 464,16a | 451,19b |
| 18 | 26,85a | 25,23a | 64,24a | 63,43a | 74,98a | 69,06b | 457,18a | 445,07b |
| 21 | 25,62a | 25,07a | 69,84a | 65,87a | 73,94a | 68,51b | 450,21a | 444,68a |
| **Média** | **26,28a** | **25,26b** | **64,50a** | **61,52a** | **74,67a** | **69,15b** | **456,39a** | **447,78b** |

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste t

#### 4.2.3.1. Temperatura de bulbo seco (TBS)

Na Figura 18 estão representados os resultados dos valores médios de temperatura do ar observados nos ambientes interno e externo referentes à terceira semana, correspondendo aos tratamentos Gaseificador e Fornalha.

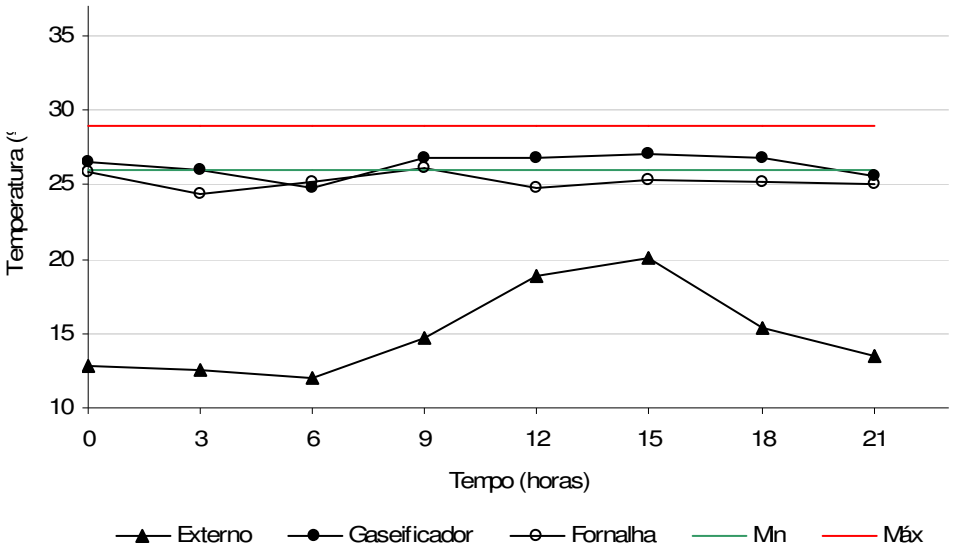


Figura 18: Médias de temperatura do ar no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana de vida das aves. As linhas de temperatura máxima e mínima delimitam a faixa de temperaturas confortáveis para as aves na idade mencionada

Observa-se na Figura 18 que para o parâmetro Temperatura, o comportamento para os tratamentos não foi semelhante, com os menores valores registrados às 6:00 horas, e os maiores valores observados foram em torno de 15:00 horas para o Gaseificador e às 9:00 horas para a Fornalha. Nessa fase a temperatura a ser mantida no interior da instalação é bem menor em relação à temperatura da primeira semana, e com isso, os aquecedores se desligavam no horário do meio dia devido ao aumento da temperatura nas instalações em função da radiação solar. Da mesma forma que na primeira e na segunda semana de vida das aves, ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar uma boa uniformidade da temperatura ambiente em relação ao ambiente externo.

Os valores de temperatura do ar ambiente durante a noite, para a terceira semana experimental, se mantiveram abaixo dos recomendados como sendo de conforto para as aves na terceira semana de vida. Estes valores são entre 26 à 29 °C segundo CURTIS (1983). Na terceira semana, mesmo com diminuição da quantidade de calor necessária as aves em relação a primeira, o aquecimento durante a noite não conseguiu atingir os níveis ótimos da temperatura do ar, devido ao fato semelhante ao ocorrido nas fases anteriores em que houve dificuldade em fornecer calor e isolar o ambiente, devido a baixa temperatura externa.

#### 4.2.3.2.Umidade relativa (UR)

Na Figura 19 são representados os resultados médios de umidade relativa do ar (UR), observados nos ambientes interno e externo referente à terceira semana de vida das aves, correspondentes aos dois tratamentos, Gaseificador e Fornalha.

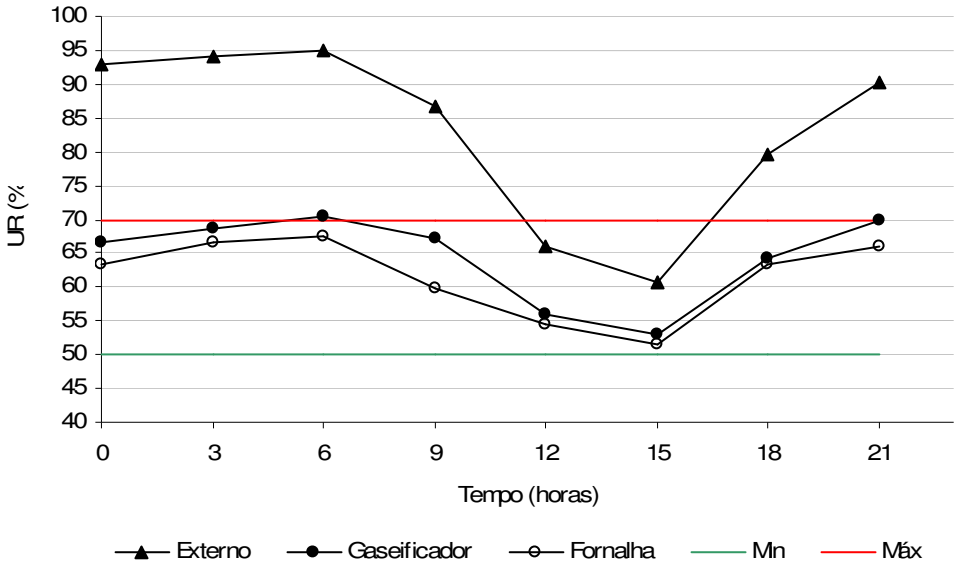


Figura 19: Médias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana de vida das aves. As linhas de UR máxima e mínima delimitam a faixa de UR confortável para as aves na idade mencionada

Quanto a UR da terceira semana experimental, verifica-se, pela Figura 19, que os dois tratamentos tiveram um comportamento semelhante. Para ambos os tratamentos a maior UR aconteceu as 6:00 e a menor às 15:00 horas. Percebe-se pela Figura 19, que no galpão com gaseificador a UR esteve todo o tempo acima da registrada no galpão com fornalha. Na terceira semana de vida das aves, houve uma aproximação da umidade relativa do ar interna dos galpões, com a externa, sendo que as grandes diferenças somente podem ser observadas no período noturno devido ao fechamento das cortinas.

De acordo com o observado na Figura 19, os valores observados de UR estiveram entre 60 e 70% para ambos os tratamentos, com os menores valores ocorrendo em torno das 00:00. Assim, a umidade permaneceu dentro da faixa recomendada, que deve ficar entre 50 e 70% (BAÊTA e SOUZA, 1997 e TINÔCO, 2001). Com o passar do tempo, verificou-se um aumento gradativo da umidade dentro das instalações, tal fato pode estar associado ao crescimento das aves, que com o aumento da idade passam a respirar mais, liberando mais vapor d'água no interior do galpão.

#### 4.2.3.3.Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Com base no Quadro 15, observa-se que na terceira semana de vida das aves, houve diferença para os valores médios de ITGU entre os tratamentos em todos os horários observados.

Na Figura 20 encontram-se ilustrados os médias dos valores de ITGU, em função dos horários de observação, para a terceira semana de vida das aves para os dois tratamentos (Gaseificador e Fornalha).

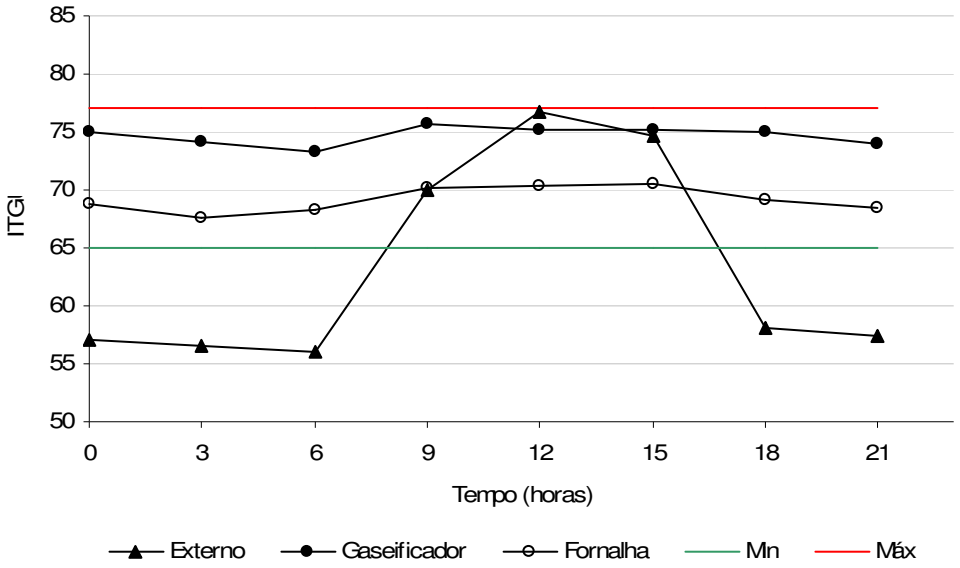


Figura 20: Médias dos índices de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana de vida das aves. As linhas de ITGU máximo e mínimo delimitam a faixa de ITGU confortável para as aves na idade mencionada

De acordo com a Figura 20, o ITGU na terceira semana obteve um comportamento similar, sendo observado ainda, da mesma forma que as outras fases, que o galpão com gaseificador propiciou médias superiores de ITGU. As maiores médias de ITGU ocorreram às 9:00 horas para o Gaseificador e às 12:00 horas para Fornalha. Observa-se pela Figura 20, que ambos os sistemas de aquecimento de ambiente foram capazes de proporcionar boa uniformidade da temperatura ambiente interna em relação ao ambiente externo, com ênfase ao sistema de aquecimento com gaseificação.

Verifica-se pela Figura 20 que os valores médios de ITGU no período noturno da terceira semana de desenvolvimento estão dentro dos índices adequados à produção de aves encontrados por TEIXEIRA (1983), que recomenda valores de ITGU entre 65 e 77 para esta fase de desenvolvimento. Observa-se também, que na terceira semana de vida das aves o tratamento Fornalha apresentou médias de ITGU abaixo das médias do tratamento Gaseificador, assim como ocorreu nas duas semanas anteriores.

#### 4.2.3.4. Carga térmica radiante (CTR)

Na Figura 21 encontram-se ilustrados as médias dos valores de CTR para os diferentes tratamentos (Gaseificador e Fornalha), em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves.

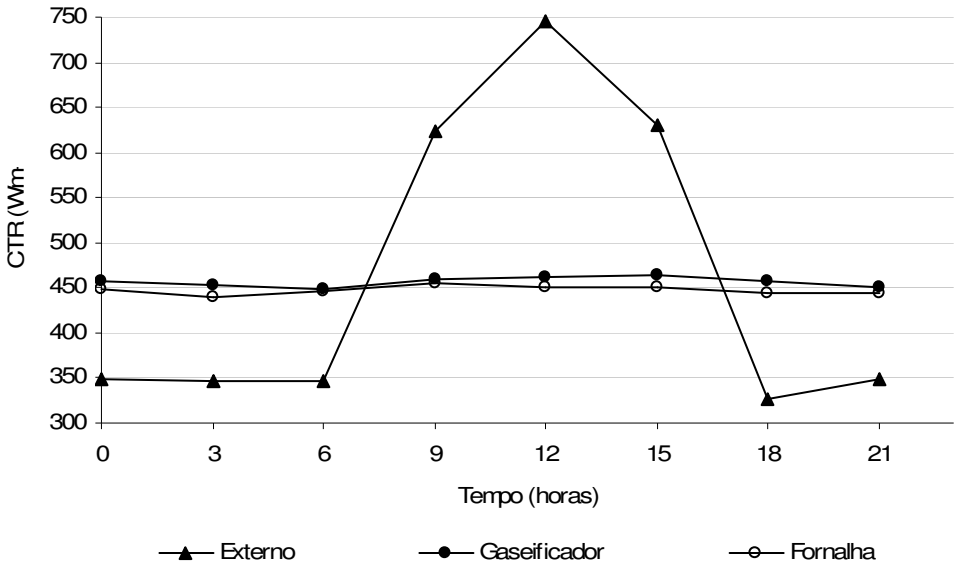


Figura 21: Médias da carga térmica de radiação (CTR) no ambiente interno e externo dos aviários submetidos aos tratamentos Gaseificador e Fornalha, em função dos horários durante a terceira semana de vida das aves

De acordo com a Figura 21, que para o tratamento Gaseificador o maior valor médio registrado foi às 15:00 horas e para Fornalha às 9:00 horas. Já os menores valores ocorreram às 6:00 horas para Gaseificador e às 3:00 horas para Fornalha. Esses valores são explicados pelo fato de que os valores que definem a CTR ocorrem em função da radiação solar que, por sua vez, atinge os valores mais elevados próximo das 12:00 horas, horário que o sol se posiciona mais perpendicular ao plano do horizonte local e, também, em função da radiação de ondas longas emitidas pela vizinhança (FONSECA, 1988).

### 4.3. Avaliação da qualidade do ar

#### 4.3.1. Primeira fase de desenvolvimento

O resumo da análise de variância envolvendo os resultados de amônia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO) em função dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador), por fornalha convencional (Fornalha) e horários observados, para a primeira semana de vida das aves, que ocorreram entre os dias 05 e 11 de junho de 2006, encontram-se relacionados no Quadro 16.

Quadro 16: Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha), em relação aos horários de observação, para a concentração de gases de amônia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a primeira semana de vida das aves

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | | |
|---|---|---|---|---|
| | | CO | CO2 | NH3 |
| Bloco | 6 | 252,61 | 538.931 | 129,97 |
| Tratamento (T) | 1 | 22.379,29$^{**}$ | 0,299 E+8$^{**}$ | 2.140,72$^{**}$ |
| Resíduo (a) | 6 | 520,42 | 402.300 | 50,10 |
| Horário (H) | 11 | 706,34$^{**}$ | 200.137.2$^{**}$ | 6,30$^{ns}$ |
| H x T | 11 | 327,48$^{ns}$ | 572.935,7$^{ns}$ | 2,86$^{ns}$ |
| Resíduo (b) | 132 | 290,74 | 447.336,3 | 3,77 |
| CV (%) | | 94,89 | 45,38 | 39,95 |

$^{ns}$ não significativo pelo teste F;
$^{**}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Os valores médios da concentração de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ($CO_2$) e amônia ($NH_3$) para os dois tratamentos, Fornalha e Gaseificador, para a primeira semana de vida das aves encontram-se no Quadro 17.

Quadro 17: Valores médios de concentração de amônia ($NH_3$), dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para os sistemas de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha) nos horários de observação, em galpões avícolas, para a primeira semana de vida das aves

| | **CO** | | **$CO_2$** | | **$NH_3$** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horário | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR |
| 0 | 37,57a | 3,57b | 2.308,29a | 1.914,00a | 1,90b | 7,97a |
| 2 | 31,14a | 16,43a | 2.369,14a | 1.084,43b | 1,44b | 9,51a |
| 4 | 37,14a | 18,72a | 2.347,71a | 1.042,14b | 2,47b | 8,74a |
| 6 | 22,57a | 4,86a | 2.694,71a | 1.156,43b | 2,77b | 8,96a |
| 8 | 42,71a | 2,14b | 1.894,57a | 845,57b | 1,13b | 7,87a |
| 10 | 14,00a | 0,57a | 1.304,00a | 893,71a | 0,33b | 9,66a |
| 12 | 14,57a | 1,14a | 1.078,86a | 722,43a | 0,21b | 7,40a |
| 14 | 19,43a | 1,57a | 1.136,86a | 740,71a | 0,49b | 7,30a |
| 16 | 20,71a | 5,00a | 1.704,14a | 846,57b | 0,69b | 7,70a |
| 18 | 38,85a | 3,14b | 1.758,14a | 1.072,43a | 1,24b | 8,83a |
| 20 | 36,00a | 10,86b | 2.123,14a | 1.159,29b | 1,71b | 9,07a |
| 22 | 39,43a | 9,14b | 2.023,43a | 1.146,71b | 1,13b | 8,17a |
| **Média** | **29,51a** | **6,43b** | **1.895,25a** | **1.052,03b** | **1,29b** | **8,43a** |

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste t

#### 4.3.1.1. Monóxido de carbono (CO)

De acordo com os valores médios de concentração de monóxido de carbono (CO) (Quadro 16), verifica-se que houve diferença significativa em relação a tratamentos e horários de observação, sendo que não houve diferença significativa entre a interação horário (H) x tratamento (T). A concentração média de CO (ppm) presente no tratamento GASEIFICADOR (29,51 ppm) esteve bem mais elevada em relação ao tratamento FORNALHA (6,43 ppm), além de estar mais elevada em relação aos limites sugeridos por WHATES (1999) E COBB-VANTRESS (2007), que é de 10 ppm. Porém, cabe salientar que esses limites são sugeridos para as instalações onde foram realizadas as pesquisas, que são regiões de clima frio nos quais os galpões permanecem fechados a maior parte do tempo a fim de manter as condições de conforto. No Brasil, as condições climáticas são bem diferentes, favorecendo a abertura dos galpões nos horários mais quentes, até mesmo no inverno, pois as aves são mais protegidas somente nos primeiros dias de vida. JAENISCH (1998), recomenda níveis de CO abaixo de 70 ppm na prevenção de ascite.

Na Figura 22 são apresentados os dados observados para a concentração de CO na primeira semana do experimento (5 à 11 de junho de 2006).

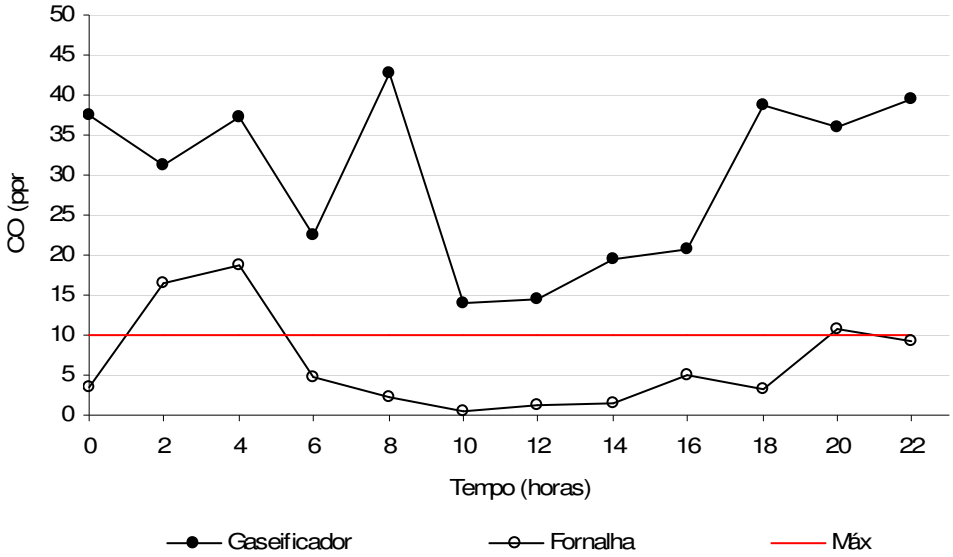


Figura 22: Concentração de CO para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves

De acordo com a Figura 22, percebe-se que a concentração de CO foi mais alta durante a noite para os dois tratamentos. Tal fato pode ser associado ao fechamento das cortinas, com o objetivo de manter as condições de conforto no interior da instalação, reduzindo assim, a renovação higiênica. No caso do aquecimento com gaseificador, a concentração é maior devido ao princípio de funcionamento do aquecedor, que, apesar de conter uma quantidade menor de gases poluentes na constituição do ar quente, apresenta ainda maior concentração de poluentes em relação ao ar quente aquecido de forma indireta pela fornalha.

#### 4.3.1.2. Dióxido de carbono (CO2)

Verifica-se pelo Quadro 16 que houve diferença significativa em relação a tratamentos e horários de observação, sendo que não houve diferença significativa entre a interação horário (H) x tratamento (T) para a variável $CO_2$. A concentração média presente nos dois tratamentos foi

inferior aos limites máximos de tolerância para o homem que, de acordo com a Norma Regulamentadora n° 15 do Ministério do Trabalho de 1998 (NR-15), é de 2.500 ppm.

No presente experimento, os valores médios de concentração de $CO_2$, registrados para o tratamento Gaseificador (1.895,25) e para Fornalha (1.052,03) foram inferiores aos limites máximos de tolerância para exposição contínua de animais nas instalações, que são de 3.000 ppm (WHATES, 1999).

PEDERSEN et al., (1998), pesquisando a taxa de ventilação em instalações para aves de postura no Norte Europeu, durante o período de verão encontrou concentrações de $CO_2$ variando entre 692 a 1.457 ppm.

Dessa forma, comparando os resultados dos valores médios da concentração de dióxido de carbono deste experimento com os recomendados, supõe-se que a qualidade do ar no interior dos aviários aquecidos com fornalha e gaseificador esteve dentro dos padrões recomendados para o bem estar animal e segurança do trabalho.

Na Figura 23 são apresentados os dados observados para a concentração de $CO_2$ na primeira semana do experimento (05 à 11 de junho de 2006).

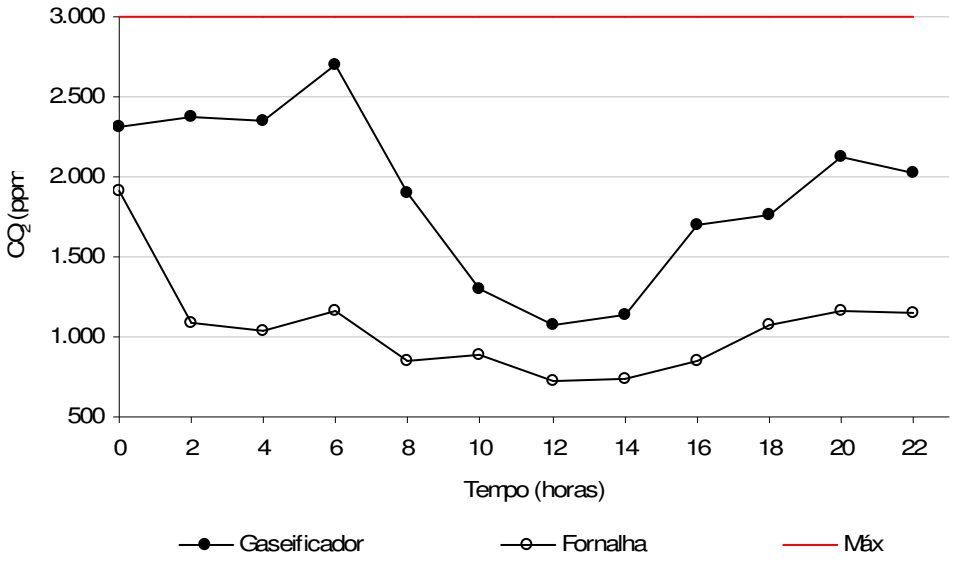


Figura 23: Concentração de $CO_2$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves

Verifica-se pela Figura 23 que a concentração de $CO_2$ para o tratamento com gaseificador foi mais alta em relação ao tratamento com a fornalha. Da mesma forma que a concentração de CO, os níveis de $CO_2$ foram maiores à noite indicando que o isolamento térmico no fechamneto das cortinas retém os gases no interior do galpão, elevando a concentração destes.

#### 4.3.1.3. Amônia (NH3)

Para a concentração de amônia ($NH_3$), pelo Quadro 16, houve diferença significativa apenas entre tratamentos, mostrando que a concentração de amônia esteve estável durante a primeira semana do experimento.

Na Figura 24 são apresentados os dados observados para a concentração de $NH_3$ na primeira semana do experimento (5 à 11 de junho de 2006).

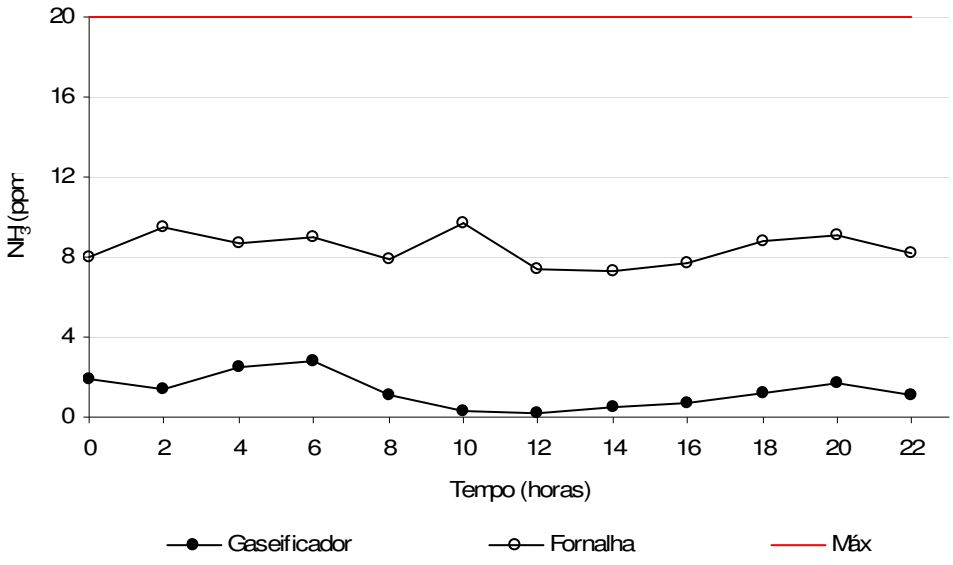


Figura 24: Concentração de $NH_3$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a primeira semana de vida das aves

De acordo com a Figura 24, apesar da diferença de concentração entre os tratamentos os valores permaneceram abaixo do limite de concentração recomendado, que é de 10 ppm segundo WHATES (1999).

### 4.3.2. Segunda semana de vida das aves

O resumo da análise de variância envolvendo os resultados de amômia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em função dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha convencional (Fornalha) e horários observados, para a segunda semana de vida das aves, que ocorreu de 12 à 18 de junho de 2006, encontra-se relacionado no Quadro 18.

Quadro 18: Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha), em relação aos horários de observação, a concentração de gases de amômia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a segunda semana de vida das aves

| **Fonte de Variação** | **Graus de Liberdade** | **Quadrado Médio** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **CO** | **$CO_2$** | **$NH_3$** |
| Bloco | 6 | 233,37 | 16.8816,7 | 6,54 |
| Tratamento (T) | 1 | 5.586,44$^{**}$ | 0,176 E+8$^{**}$ | 214,51$^{**}$ |
| Resíduo (a) | 6 | 194,67 | 12.856,63 | 15,41 |
| Horário (H) | 7 | 168,46$^{*}$ | 2.296.835$^{**}$ | 7,87$^{**}$ |
| H x T | 7 | 130,93$^{ns}$ | 236.933,7$^{*}$ | 0,5167$^{ns}$ |
| Resíduo (b) | 84 | 78,56 | 87.055,35 | 2,14 |
| CV (%) | | 94,09 | 15,94 | 45,22 |

$^{ns}$ não significativo pelo teste F;
$^{*}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;
$^{**}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Os valores médios da concentração de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ($CO_2$) e amônia ($NH_3$) para os dois tratamentos, Gaseificador e Fornalha, na segunda semana de vida das aves, encontram-se no Quadro 19.

Quadro 19: Valores médios de concentração de amônia ($NH_3$), dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para os sistemas de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha) nos horários de observação, em galpões avícolas, para a segunda semana de vida das aves, no mês de junho de 2006

| | **CO** | | **$CO_2$** | | **$NH_3$** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horário | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR |
| 0 | 12,57a | 1,14b | 2.641,85a | 1.585,85b | 1,91b | 4,76a |
| 3 | 20,43a | 4,86b | 2.723,71a | 1.699,00b | 2,76b | 5,50a |
| 6 | 25,57a | 2,71b | 2.732,85a | 1.650,14b | 2,43b | 4,94a |
| 9 | 13,43a | 1,57b | 2.152,28a | 1.389,00b | 1,44b | 3,99a |
| 12 | 13,71a | 1,29b | 1.476,86a | 951,00b | 1,00b | 3,24a |
| 15 | 7,00a | 2,57a | 1.445,71a | 1.074,28b | 0,67b | 4,00a |
| 18 | 15,43a | 2,86b | 2.281,28a | 1.607,00b | 2,07b | 5,39a |
| 21 | 21,71a | 1,86b | 2.526,42a | 1.678,57b | 2,53b | 5,14a |
| **Média** | **16,48a** | **2,35b** | **2.247,63a** | **1.454,38b** | **1,85b** | **4,62a** |

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste t

#### 4.3.2.1. Monóxido de carbono (CO)

De acordo com os valores médios de concentração de CO, (Quadro 18), verifica-se que houve diferença significativa em relação a tratamentos e horários de observação, sendo que não houve diferença significativa para a interação horário (H) x tratamento (T). A concentração média de CO (ppm) presente no tratamento Gaseificador (16,48 ppm) esteve maior em relação ao tratamento Fornalha (2,53 ppm), porém bem mais baixa em relação à primeira semana, ver Quadro 19. Também, nesta semana a concentração média de CO no tratamento Gaseificador esteve além do limite sugerido por WHATES (1999) e por COBB-VANTRESS (2007), que seria de 10 ppm. Como discutido anteriormente (item 4.3.1.1.), esses padrões de concentração de gases não foram estudados nas condições de clima e instalações dessa região, servindo apenas como indicador.

Na Figura 25 são apresentados os modelos de regressão ajustados para a concentração de CO na segunda semana do experimento (12 à 18 de junho de 2006).

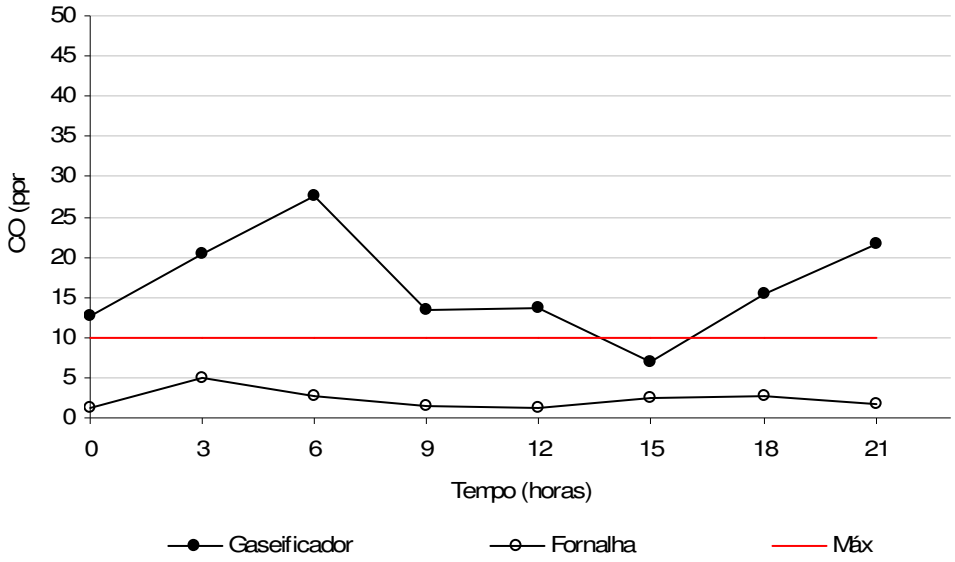


Figura 25: Concentração de CO para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a segunda semana de vida das aves

Na Figura 25 podemos observar que as médias dos tratamentos estão mais próximas em relação as médias dos tratamentos na primeira semana. Tal fato pode ser atribuído a menor exigência de vedação do pinteiro, visto que as aves estavam maiores e necessitavam de menos calor, favorecendo a renovação do ar no interior da instalação.

#### 4.3.2.2. Dióxido de carbono ($CO_2$)

Verifica-se, pelo Quadro 18, que houve diferença significativa em ralação a tratamentos e horários de observação, e entre a interação horário (H) x tratamento (T) para o parâmetro $CO_2$. Para a segunda semana de aquecimento, a concentração média presente nos dois tratamentos foi inferior aos limites máximos de tolerância para o homem que, de acordo com a Norma Regulamentadora n° 15 do Ministério do Trabalho de 1998 (NR-15), é de 2.500 ppm. Dessa forma, comparando os resultados dos valores médios da concentração de dióxido de carbono deste experimento com os recomendados, pode-se afirmar que qualidade do ar no interior das instalações esteve dentro dos padrões recomendados para o bem estar humano e animal.

De acordo com o Quadro 19, em todos os horários de observação a concentração média de $CO_2$ foi maior para o tratamento com gaseificador.

Na Figura 26 são apresentados os dados observados para a concentração de $CO_2$ na segunda semana do experimento (12 à 18 de junho de 2006).

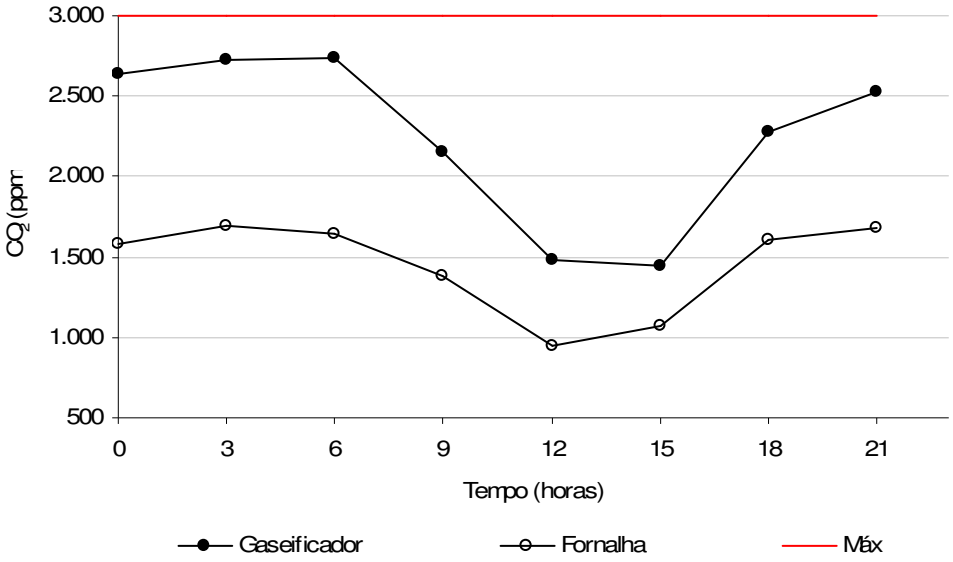


Figura 26: Concentração de $CO_2$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a segunda semana de vida das aves

Verifica-se pela Figura 26 que a concentração de $CO_2$ para o tratamento com gaseificador foi mais alta em relação ao tratamento com a fornalha. A variação da concentração de $CO_2$ ao longo do dia apresentou comportamento idêntico ao da primeira semana, sendo que a concentração aumentava no período noturno devido ao fechamento do pinteiro. Nessa semana, também observou-se que as médias foram superiores as da primeira semana, provavelmente em função do crescimento das aves, que passou a apresentar maior taxa respiratória liberando mais $CO_2$ na instalação e fazendo com que os níveis fossem maiores.

As menores concentrações sempre ocorreram por volta do meio dia, horário mais quente, quando as cortinas eram abertas e os sistemas de aquecimento desligados.

#### 4.3.2.3. Amônia ($NH_3$)

Para a concentração de amônia ($NH_3$), segundo o Quadro 18, houve diferença significativa entre tratamentos e entre horários de observação.

Na Figura 27 são apresentados os dados observados para a concentração de $NH_3$ na segunda semana do experimento (5 à 11 de junho de 2006).

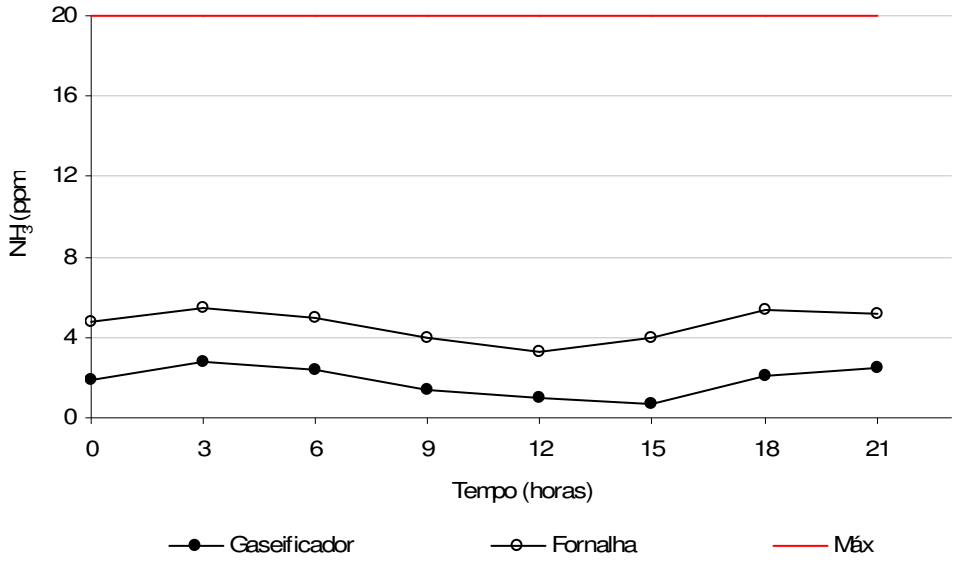


Figura 27: Concentração de $NH_3$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a segunda semana de vida das aves

Nessa semana as médias dos tratamentos estiveram mais próximas entre si. Ambos tratamentos estiveram com as médias abaixo do máximo recomendado.

### 4.3.3. Terceira semana de vida das aves

O resumo da análise de variância envolvendo os resultados de concentração de amônia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em função dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha convencional (Fornalha) e horários observados, para a terceira semana de vida das aves, que ocorreram entre os dias 19 e 25 de junho de 2006. Tais dados encontram-se relacionados no Quadro 20.

Quadro 20: Resumo da análise de variância referente ao efeito dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha), em relação aos horários de observação, para a

concentração de gases de amônia ($NH_3$), gás carbônico ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), com o coeficiente de variação (CV), em galpões avícolas, para a terceira semana de vida das aves

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | | |
|---|---|---|---|---|
| | | CO | $CO_2$ | $NH_3$ |
| Bloco | 6 | 138,73 | 445.221 | 53,22 |
| Tratamento (T) | 1 | 2.442,22$^{**}$ | 0,101 E+8$^{**}$ | 446,40$^{**}$ |
| Resíduo (a) | 6 | 125,74 | 189.206 | 8,68 |
| Horário (H) | 7 | 210,82$^{ns}$ | 3.272.724$^{**}$ | 43,09$^{**}$ |
| H x T | 7 | 188,67$^{ns}$ | 131.295$^{ns}$ | 20,74$^{*}$ |
| Resíduo (b) | 84 | 100,26 | 0,163E+8 | 7,88 |
| CV (%) | | 178,86 | 23,89 | 47,10 |

$^{ns}$ não significativo pelo teste F;
$^{*}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;
$^{**}$ significativo estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Os valores médios da concentração de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ($CO_2$) e amônia ($NH_3$) para os dois tratamentos, Gaseificador e Fornalha, na a terceira semana de vida encontram-se no Quadro 21.

Quadro 21: Valores médios de concentração de amônia ($NH_3$), dióxido de carbono ($CO_2$) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para os sistemas de aquecimento com gaseificador (Gaseificador) e por fornalha (Fornalha) nos horários de observação, em galpões avícolas, para a terceira semana de vida das aves, no mês de junho de 2006

| | CO | | $CO_2$ | | $NH_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horário | GAS | FOR | GAS | FOR | GAS | FOR |
| 0 | 22,85a | 1,29b | 2.694,29a | 1.920,29b | 3,51b | 9,77a |
| 3 | 17,00a | 0,57b | 2.481,86a | 1.799,71b | 3,47b | 9,76a |
| 6 | 15,14a | 1,71b | 2.547,71a | 2.022,14b | 3,96b | 10,64a |
| 9 | 8,71a | 1,43a | 2.005,29a | 1.120,71b | 5,63a | 5,89a |
| 12 | 2,71a | 0,71a | 1.329,71a | 862,71b | 2,13a | 4,64a |
| 15 | 0,71a | 0,43a | 1.346,86a | 1.091,43a | 2,24a | 4,37a |
| 18 | 7,57a | 0,86a | 2.286,71a | 1.643,29b | 6,17b | 10,16a |
| 21 | 7,71a | 0,14a | 2.440,28a | 1.867,57b | 4,33b | 8,67a |
| **Média** | **10,27a** | **0,93b** | **2.141,59a** | **1.540,98b** | **3,96b** | **7,96a** |

Médias seguidas por uma mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste t

#### 4.3.3.1. Monóxido de carbono (CO)

De acordo com os valores médios de concentração de monóxido de carbono (CO) (Quadro 20), verifica-se que houve diferença significativa em ralação a tratamentos, entretanto não houve diferença significativa entre

horários de observação e a interação horário (H) x tratamento (T). A concentração média de CO presente no tratamento Gaseificador (10,27 ppm) esteve próxima da recomendada (10 ppm) WHATES (1999) e COBB-VANTRESS (2007) durante as horas mais quentes do dia.

Na Figura 28 são apresentados os modelos de regressão ajustados para a concentração de CO na terceira semana do experimento (19 à 25 de junho de 2006).

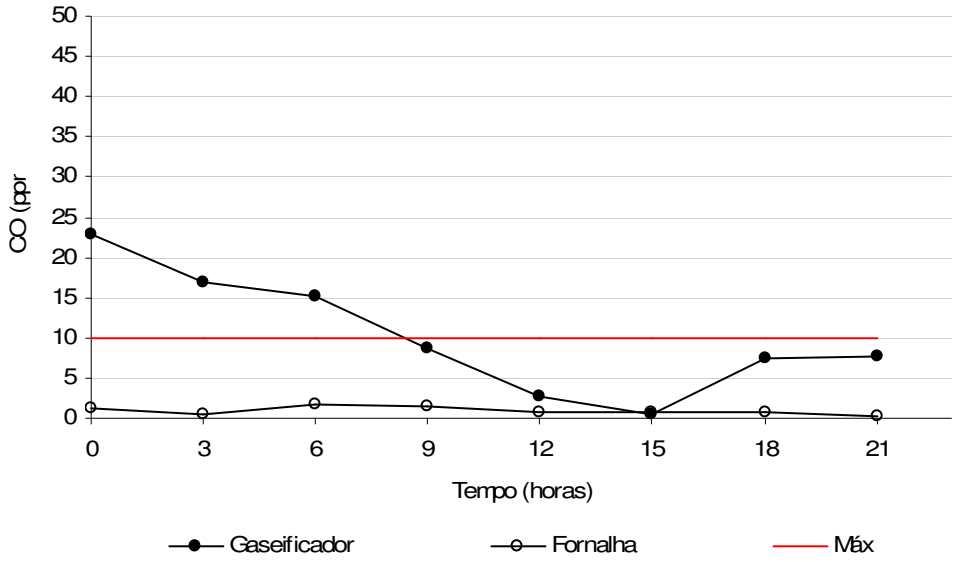


Figura 28: Concentração de CO para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves

De acordo com a Figura 28, percebe-se que a concentração de CO continuou mais alta durante a noite para o tratamento com gaseificador, enquanto no galpão com a fornalha a concentração média se manteve regular durante todas as horas do dia, mostrando que o sistema de gaseificação modifica a composição do ar no interior da instalação.

Analisando as médias da concentração de CO durante as três semanas de aquecimento, verifica-se uma diminuição da mesma ao longo do tempo mostrando que a taxa de renovação do ar melhora com o crescimento das aves, uma vez que os galpões são mantidos mais abertos.

MENEGALI (2005), em pesquisa realizada no município de Videira-SC, observou médias variando de 2,65 a 8,79 ppm as 10:00 horas e 1,87 a

3,93 ppm as 16:00 horas, para as duas primeiras semanas de vida das aves com aquecimento por campânulas a gás.

Cabe salientar, que os limites máximos de exposição para humanos, considerando oito horas em média, são de 25 ppm para amônia, 5.000 ppm para dióxido de carbono e 50 ppm para monóxido de carbono. Se o tempo de exposição for de 15 minutos, esses limites passam a ser de 35, 15.000 e 300 ppm respectivamente (WHATES, 1999). Como os valores destes gases durante o experimento foram menores, supõe-se que não houve nenhum tipo de problema com relação aos funcionários que trabalham no local.

#### 4.3.3.2. Dióxido de carbono ($CO_2$)

Verifica-se pelo Quadro 20 que houve diferença significativa em relação a tratamentos e horários de observação, entretanto não houve diferença significativa entre a interação horário (H) x tratamento (T) para o parâmetro $CO_2$. A concentração média presente nos dois tratamentos foi inferior aos limites máximos de tolerância para o homem (2.500 ppm) de acordo com a Norma Regulamentadora n° 15 do Ministério do Trabalho de 1998 (NR-15), e com os limites máximos de tolerância para exposição contínua de animais nas instalações (3.000 ppm), segundo WHATES (1998).

Dessa forma, comparando os resultados dos valores médios da concentração de dióxido de carbono deste experimento com os recomendados, supõe-se que a qualidade do ar no interior das instalações esteve dentro dos padrões para o bem estar animal e dos funcionários.

Na Figura 29 são apresentados os dados observados para a concentração de $CO_2$ na terceira semana do experimento (19 à 25 de junho de 2006).

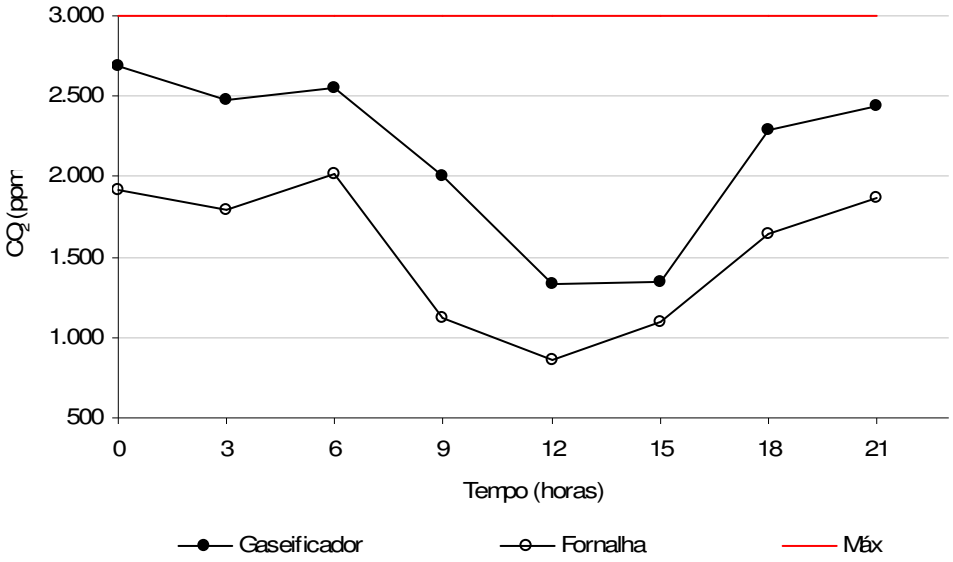


Figura 29: Concentração de $CO_2$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves

Verifica-se pela Figura 29 que apesar de a concentração de $CO_2$ para o tratamento com gaseificador ter sido mais alta em relação ao tratamento com a fornalha, elas estiveram mais próximas em relação as duas primeiras semanas do experimento. As menores concentrações sempre ocorreram por volta do meio dia, horário mais quente em que as cortinas eram abertas e os sistemas de aquecimento desligados.

Analisando a concentração de $CO_2$ durante as três semanas de aquecimento, verifica-se que há um aumento na concentração de $CO_2$ no galpão com a fornalha, isto se deve, provavelmente, ao crescimento das aves e, dessa forma, aumento da taxa respiratória.

Comparando os dados de $CO_2$ dessa semana com as médias encontradas por MENEGALI (2005) em aquecimento com campânula a gás (1.400 a 2.062 ppm), nas duas primeiras semanas de vida, verifica-se que os valores médios são aproximados.

#### 4.3.3.3. Amônia ($NH_3$)

Para a concentração de amônia ($NH_3$), segundo o Quadro 20, houve diferença significativa apenas nos tratamentos, nos horários e também na interação horário x tratamentos.

Na Figura 30 são apresentados os modelos de regressão ajustados para a concentração de $NH_3$ na terceira semana do experimento (19 à 25 de junho de 2006).

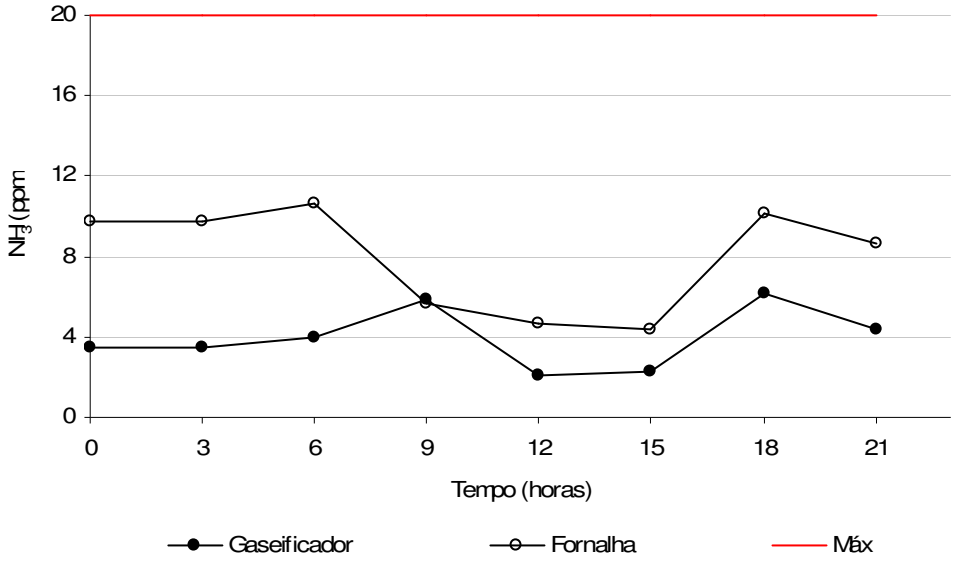


Figura 30: Concentração de $NH_3$ para ambos os tratamentos (Gaseificador e Fornalha) em função dos horários de observação para a terceira semana de vida das aves

De acordo com a Figura 30, verifica-se a diferença de concentração entre os tratamentos. Também é observado pela Figura 30, que nas horas mais quentes do dia, quando as cortinas eram abertas e os sistemas de aquecimento se desligavam, a concentração de $NH_3$ diminuía, sendo isso atribuído as trocas de ar na instalação.

Com relação à tolerância humana, segundo NIOSH (2003), necessita-se levar em consideração o tempo de exposição, nos quais os limites seriam de 25 ppm, 35 ppm e 50 ppm, para os tempos de 15 h, 8 h e 5 min respectivamente.

### 4.4. Avaliação do desempenho das aves

O resultado do peso vivo (PV), ganho de peso (GP), taxa de mortalidade (TM), consumo de ração (CR) e conversão alimentar (CA) em função dos sistemas de aquecimento por gaseificador (Gaseificador) e por

fornalha (Fornalha), no período observado, encontram-se apesentados no Quadro 22.

Quadro 22: Dados sobre o desempenho das aves no período estudado

| | **Gaseificador** | **Fornalha** |
|---|---|---|
| Peso médio final(kg) | 2,591 | 2,524 |
| Consumo médio ração ($kg.ave^{-1}$) | 4,773 | 4,652 |
| Conversão alimentar ($kg_{ração}. kg_{carne}^{-1}$) | 1,920 | 1,937 |
| Ganho médio diário (g) | 57,567 | 57,356 |
| Mortalidade (%) | 4,029 | 4,818 |

Como pode ser observado pelo Quadro 22, o desempenho das aves nos dois tratamentos esteve com as médias semelhantes.

Esses resultados demonstram que apesar da pequena diferença entre os tratamentos no que diz respeito a concentração de gases, estas não interferiram no desempenho produtivo das aves. Cabe salientar que não é só a alta concentração de gases que prejudica a performance animal, mas também o tempo de exposição a esses níveis. No tratamento com o gaseificador, a concentração só aumentou no período em que o aquecedor estava ligado, diminuindo com o desligamento do mesmo, fazendo com que o tempo de exposição a essas concentrações fosse diminuído. Além disso, a quantidade de gases presentes na composição do ar esteve acima dos limites recomendados apenas para o CO, sendo 29,51 e 16,48 ppm para a primeira e segunda semanas de vida, respectivamente.

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os experimentos, considerando os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O sistema Gaseificador/combustor de lenha de eucalipto foi capaz de aquecer o ar ambiente de uma instalação avícola, e apresentou melhores resultados em relação a fornalha à lenha tradicional, provendo maior conforto térmico das aves, nas três primeiras semanas de vida destas;
- De maneira geral a temperatura interna média do ar não correspondeu àquela considerada de conforto térmico para as aves, provavelmente, devido a falhas nos fechamentos das instalações, e bem como a ocorrência no período de inverno de grandes amplitudes térmicas no ambiente externo influenciando diretamente o ambiente interno do aviário, tornando o aquecimento insuficiente.
- A variação da umidade relativa do ar no interior das instalações foi semelhante nos dois tratamentos. Nas três semanas de coleta de dados a umidade relativa do ar oscilou entre 50% e 70% nos dois casos estudados, considerados níveis satisfatórios para bom desenvolvimento do plantel.
- Considerando os índices de temperatura de globo negro e umidade-ITGU, o galpão aquecido com o gaseificador proporcionou melhores condições de conforto térmico ambiente para as aves.
- As concentrações médias de CO e $CO_2$, tanto no galpão aquecido com fornalha quanto no aquecido com gaseificador, estiveram

próximas dos índices de segurança recomendados, e, por outro lado, a concentração de $NH_3$ foi sempre menor no interior do galpão aquecido com o gasificador, se comparada àquela encontrada no galpão aquecido com fornalha tradicional;

- Não houve diferença significativa no desempenho produtivo das aves criadas nos galpões aquecidos com os dois sistemas;
- O consumo de lenha para aquecimento do ar ambiente no tratamento com Gaseificador foi 26% menor do que aquele onde se utilizou a Fornalha tradicional.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão vegetal – Ensaios físicos. Determinação da massa específica (Densidade à granel)**. (NBR 6922). 1981.

ABREU, P.G.; ABREU, V. M. N. **Caracterização dos principais sistemas de aquecimento**. Circular Técnica 32. EMBRAPA Suínos e Aves, Concórdia. 2002. 8 p.

ABREU, P. G.; BAETA, F. C.; ABREU, V. M. N. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 29, n. 1, 2000.

ABREU, P.G. **Modelos de aquecimento**. *IN*: IV Simpósio Brasil Sul de Avicultura. 2003, **Anais...** Chapecó, SC. p. 65-77, 2003.

ABREU, P. G. **Sistemas de aquecimento em piso, com resistência elétrica, para criação de aves**. 1994. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

ALBINO, L.F.T. **Frango de corte; manual prático de manejo e produção**. Viçosa: Aprenda Fácil, 1998. 72 p.

ANÔNIMO. **Fumaça de madeira pode ser mais perigosa do que se pensava**. Em <http://solarcooking.org/portugues/ghouse-pt.htm>, 2006. Acesso em 09/12/2006.

AVISITE, **Em 2007, produção de carnes de aves cresce perto de 3% e comércio 6%, diz FAO.** Em: <http://www.avisite.com.br/noticias/default.asp?codnoticia=7407>, 2006. Acesso em 15/12/2006.

AVISITE, **Tendências das carnes brasileiras no mercado externo em 2007.** Em: < http://www.avisite.com.br/noticias/default.asp?codnoticia=7407>, 2006c. Acesso em 15/12/2006.

AVISITE, **Estatísticas e preços.** Em: <http://www.avisite.com.br/>, 2006b. Acesso em 15/12/2006.

BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais:conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246 p.

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, SP, FACTA, p. 67-75, 1995.

BAZZO, E. **Geração de vapor**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. (Série didática).

BELLAVER, C. **Visão do produtor de rações sobre a qualidade dos grãos destinados à produção de carne de frangos**. 2003. Disponível em <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_k1j39s5j.html>. Acesso em: 19 de janeiro 2007.

BOND, T.E., KELLY, C.F. The globe thermometer in agricultural research. **Transactions of the ASAE**, St.Joseph, v. 36, n. 7, p. 251-255, 1955.

BRASIL, 2007 – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio: Mundial e Brasil até 2016/2017** Disponível em:< http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em 22 de janeiro de 2007.

BUFFINGTON, C. S., COLLAZO-AROCHO, A., CANTON, G. H., PITT, D., THATCHER, W. W., COLLIER, R. J. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711- 714, 1981.

CAMARGO, C.A. (Coord). Conservação de energia na indústria de açúcar e do álcool. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. (Publicação IPT, 1817).

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Gaseificação de biomassa.** Divisão de análise e desenvolvimento energético. Belo Horizonte, 1986. 111 p.

CENBIO – Banco de dados de biomassa no Brasil. **Lenha no Brasil.** Disponível em: http://infoener.iee.usp/acipts/biomassa/texto/br_lenha.asp. Acesso em 15/02/2005.

CHANDRA, P.K., PAYNE, F.A. Turndown ratio of gasifier-combustor predicted by a simulation model. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p.1748-53, 1986.

Cobb-Vantress. **Guia de manejo de pollo de engorde**. Siloan Springs, Arkansas, 2005. 63p. Disponível em http://www.cobb-vantress.com Acesso em 05 de fevereiro de 2007.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animai agriculture**. Ames: The lowa State University Press, 1983. 409 p.

CZARIC, M., LACY, M. Radian Brooderinstallation, management. **P. Digest**., v. 59, p. 24-28, 1996.

ENGLERT,S.l. **Avicultura: tudo sobre raças, manejo, alimentação e sanidade**. 6 ed. Porto Alegre, Editora Agropecuária,1987. 288 p.

ESMAY, M.L. **Principles ofanimai environment**. Westport : Avi, 1982. 325 p.

ESMINGER, M. E. The stockman's handbook. 7 ma ed. Interstate Publishers, INC. Danville Illinois, 1992. p. 1030.

FERREIRA, W. P. M. **Avaliação de uma fornalha a carvão vegetal para aquecimento de aviário.** 2004. 137 p. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FERREIRA, W. P. M; SILVA, J. S.; SILVA, J. N.; SOUZA, C. F. **Dimensionamento de uma fornalhaa carvão vegetal para aquecimento de aviário.** R. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.14, n.4, 258-267, Out./Dez, 2006.

FURLAN, R. L.; MACARI, M. Termorregulação. In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 375 p. 2002.

FONSECA, J. M. **Efeito da densidade de alojamento sobre o desempenho de frangos de corte criados em sistema de nebulização e ventilação em túnel**. 1988. 57p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

FURTADO, D. A., DANTAS, R. T., NASCIMENTO, J. W. B. do et al. **Effect of different environment conditioning systems on the productive performance of chickens**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Apr./June 2006, vol.10, no.2, p.484-489. ISSN 1415-4366.

GOMES, R.A.R. **Avaliação do desempenho de uma fornalha a lenha de fluxo descendente e com sistema de aquecimento direto**. 1988. 56 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

HELLICKSON, M.A; WALKER, J.N. **Ventilation of agricultural structures.** ASAE, St. Joseph, Michigan. 1983. 372 p.

HINZ, T; LINKE, S.A. **Comprehensive Experimental Study of Aerial Pollutants in and Emissions from Livestock Buildings.** Part 2: Results. J. agric. Engng Res. (1998) 70, 119 -129.

JAENISCH, F. R. F. Instrução Técnica para o Produtor 5. **O que é e como reduzir a ascite em frangos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – CNPSA. ISSN 1516-5523. Junho –1998. p 1-2.

LOPES, R.P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto do ar**. Viçosa: 2002. 220 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

LOPES, R.P.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J.S.; SILVA, J. N da. **Fontes de energia para secagem de café. Viçosa**: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/UFV. 2001. (Boletim técnico 3).

LORA, E.S.; HAPP, J.F. **Balanço de massa e energia nos processos de combustão**. IN: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S. Tecnologias de conversão energética da biomassa. Manaus: EDUA/EFEI. 1997a. p 61-90.

LORA, E.S; HAPP, J.F.; CORTEZ, L.A.B. Caracterização e disponibilidade de biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S. **Tecnologias de conversão energética da biomassa**. Manaus: EDUA/EFEI, p 5-37. 1997.

MACARI, M. **Conforto ambietal para aves – ponto de vista do fisiologista**. *IN*: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2, 1996, Goiânia. **Anais…** Goiânia, 1996. p. 57-60.

MACARI, M., FURLAN, R.L., GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2. ed. ampl. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002.

MACHADO, P.S. Manejo do 1º ao 28º dias. In: **Manejo de frangos**. Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas. Campinas: FACTA. 1994. p.47-58.

MARTIN, S. **Desenvolvimento de um gasificador de biomassa de fluxo concorrente.** 2005. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MARTIN, S.; SILVA, J. N.; TINÔCO, I. F. F.; VIEIRA, A. C.; ZANATTA, F. L.; MELO, L. D.. **Projeto e construção de um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente.** R. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.14, n.4, 258-267, Out./Dez, 2006.

MENEGALI, S. **Diagnóstico da qualidade do ar na produção de frangos de corte em instalações semi-climatizadas por pressão negativa e positiva, no inverno, no sul do Brasil.** 2005. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MORISHITA, T. **Ventilation and toxic gases.** Califórnia Poultry Letter: UC Davis, 1991. Disponível em: <http://www.ventilation/educ.html>. Acesso em: 10/12/2001.

McDOWELL, R.E. **Bases biológicas de la producion animal en zonas tropicales**. Zaragoza: Editora Acribia, 1975. 692 p.

MENDES, L.M.; SILVA, J.R.da; TRUGILHO, P.F. **Gaseificação de carvão vegetal ou madeira para geração de energia em pequena escala**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 98 p.

MORAES, S.R.P; TINOCO, I. F. F.; BAETA, F. C.; CECON, P. R. Caracterização de sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.89-92, 1999.

MORAES, S.R.P. **Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações**. 2002. 148 p. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

NÄÄS, I. A. **Aspectos físicos da construção no controle térmico do ambiente das instalações**. Conferência APINCO, **Anais...**, 1994.

NÄÄS, I. A. **Categorias dos poluentes do ar**. IN Anais do I workshop Qualidade do ar em instalações zootécnicas. Viçosa:UFV,2004. meio digital, cd room.

NIOSH – National institute for occupational safety and health. Versão eletrônica 2003. Disponível em: <http://cdc.gov/niosh/pel88/7664-41.html>. Acesso em 19 de julho de 2005.

NORTH, M. O. & BELL, D. D. **Comercial chicken produtionr manual**. 4 ed. New York, Chapman & Hall, 1990. 913 p.

OLIVEIRA FILHO, D. **Aquecimento de ar. Viçosa**: CENTREINAR, 1986.

OLIVEIRA, G.A. de. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha com aquecimento indireto e autocontrole da temperatura máxima do ar para secagem de produtos agrícolas**. 1996. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

PAYNE, F. A.; CHANDRA, P.K. Mass Balance for biomass gasifier-combustor. **Transaction of the ASAE**, USA, v. 28, n. 6, p. 2037-2041, 1985.

PEDERSEN S.; TAKAI H.; JOHNSEN J. O.; METZ J. H. M.; GROOT KOERKAMP P. W. G.; UENK G. H.; PHILLIPS V. R.; HOLDEN M. R.; SNEATH R. W.; SHORT J. L.; WHITE R.; PHARTUNG J.; SEEDORF J.; SCHRO¨ DER M.; LINKERT K. H.; WATHES C. M. A Comparison of Three Balance Methods for Calculating Ventilation Ratesin Livestock Buildings. **J. agric. Engng Res**. (1998) 70, 25–37.

PERA, H. **Geradores de vapor: um compêndio sobre conversão de energia com vistas à preservação da ecologia**. São Paulo: Fama, 1990. (Paginação Irregular).

PEREIRA, A. K. **Avaliação dos fatores térmicos ambientais e qualidade do ar no desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões avícolas sob sistema de ventilação positiva, em condições de verão.** 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

PIASENTIN, J. A. **Conforto medido pelo índice de temperatura de globo negro e umidade relativa na produção de frangos de corte para dois tipos de pisos em Viçosa**. 1984. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Vçosa, 1984.

SAGLIETTI, J.R.C. **Rendimento térmico de fornalha a lenha de fluxos cruzados**. Botucatu: 1991. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

SÁNCHEZ, C.G. Tecnologia da gaseificação (Capítulo I). Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/Gaseif-Cap1.pdf> . Acesso em: 20/09/2004.

SÁNCHEZ, C.G. **Tecnologia da gaseificação (Capítulo II)**. Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/Gaseif-Cap2.pdf> . Acesso em: 20/09/2004b.

SÁNCHEZ, C.G. **Tecnologia da gaseificação** (Capítulo II). Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/Gaseif-Cap2.pdf> . Acesso em: 20/09/2004c.

SANTOS, I.S. **Reator de gaseificação de biomassa em fluxo contracorrente**. 2003. 76 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SANTOS, T. M. Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frango de corte. 2001. 180 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JUNIOR, Jorge de. Energetic balance in poultry house. **Rev. Eng. Agríc**., Jaboticabal, v. 24, n. 1, 2004.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo. Nobel, 2000, 286p.

SILVA, C. E. **Comparação de painéis evaporativos de argila expandida e celulose para sistemas de resfriamento adiabático do ar em galpões avícolas com pressão negativa em modo túnel**. 2002. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SILVA, J.N.; SAIKI, E.T.; VILARINHO, M.C.; SOBRINHO, J.C. **Gasificador/combustor a cavacos de lenha na secagem de café despolpado.** *IN*: ENCONTRO NACIONAL DE ENERGIA NO MEIO

RURAL, 3º – AGRENER 2000, Campinas. **Anais...** Campinas, 2000. CD-ROM.

SILVESTINNI, G. **Indústria de aves vai produzir biogás**. GAZETA MERCANTIL, Finanças e Mercados, outubro de 2001.

SOUZA, R.; JARDIM, C.; SALGUE, J. M.; CARVALHO, C. R. R. **Lesão por inalação de fumaça**. Jornal Brasileiro de Pneumologia. São Paulo, 2004. v. 30, n 6., p. 557-565.

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.** 1983. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1983.

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.

TINOCO, I.F.F. **A granja de frangos de corte.** *IN*: Manejo e criação de frangos de corte. APINCO, **Anais...** 2003. p. 55-84.

TINOCO, I.F.F. **Sistema de resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte**. 1988. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

TURRA. F. Cenário de aflição e superação. **Revista anuário 2006 da avicultura industrial**. Disponível em: http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?tipo_tabela=negocios&id=17084&categoria=mercado_interno. Acesso em: 13/02/2007.

VALARELI, I. D. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha à resíduos agrícolas, de fogo indireto para secadores de produtos agrícolas**. Botucatu: 1991. 123 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu,1991.

VALENTINE, G.L. A study of effect of different ventilation rates on yhe ammonia concentrations in the atmosphere of broiles houses. **British Poultry Science** 5, p. 149-159. 1964.

VIEIRA, A.C. **Gaseificação de briquetes de casca de eucalipto.** 2005. p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

VLASSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

WANDER, P.R. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energia renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 106 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

WATSON, H., OLIVER, R., HICKMAN, J. Wood heat for broiler houses showing promise. **Poud Digest**., v. 41, p. 384-8, 1982.

WENZL, H. F. J. The Chemical Techonologic of Wood. New York. **Academic Press**. 1970. 692 p.

WHATES, C.M. **Strive for clean air in your poutry house**. World Poultry, V.15, n.13, 1999. p.17-79.

# 7. ANEXOS

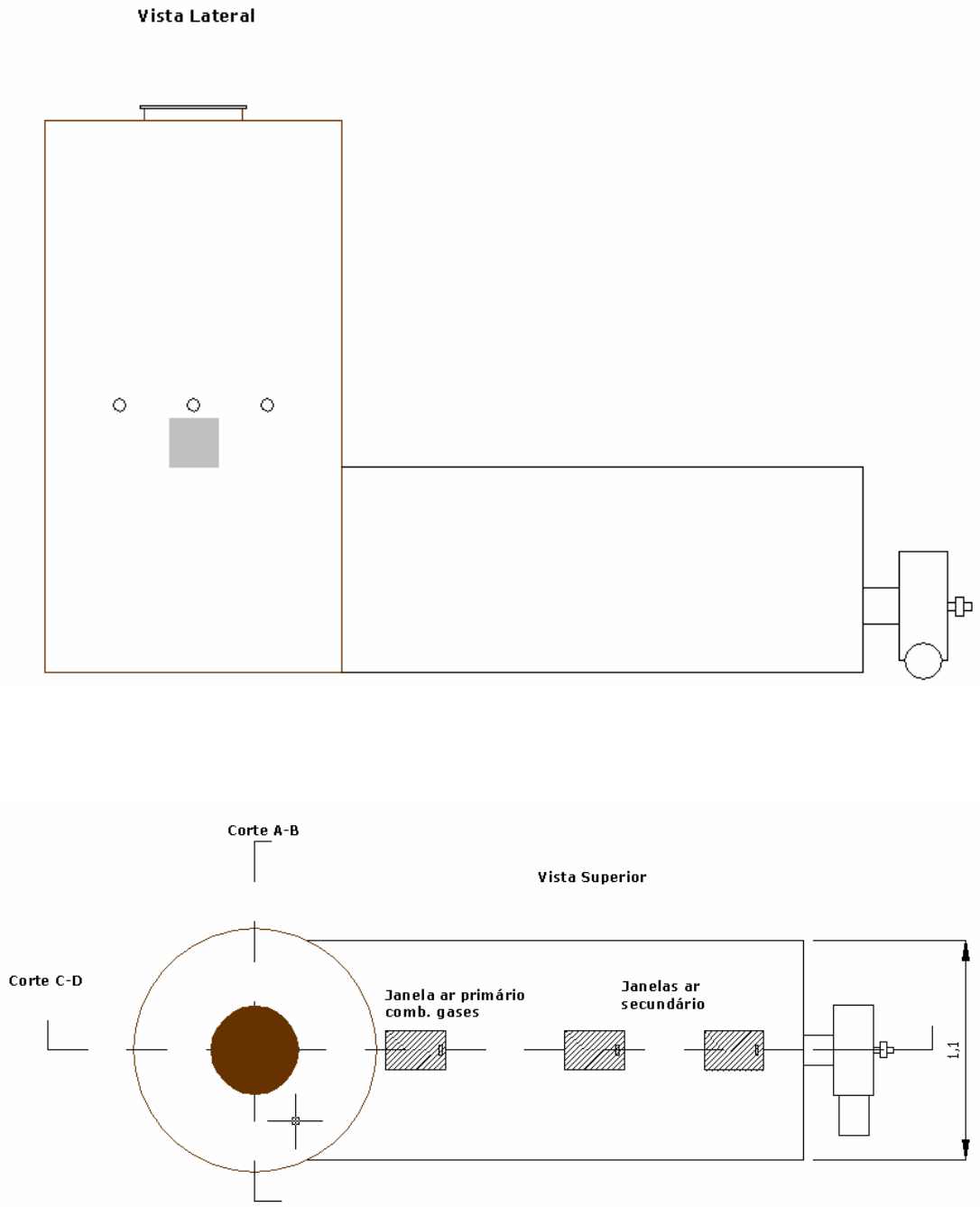


Figura 31A: Vista lateral e superior do gaseificador de biomassa construído no experimento

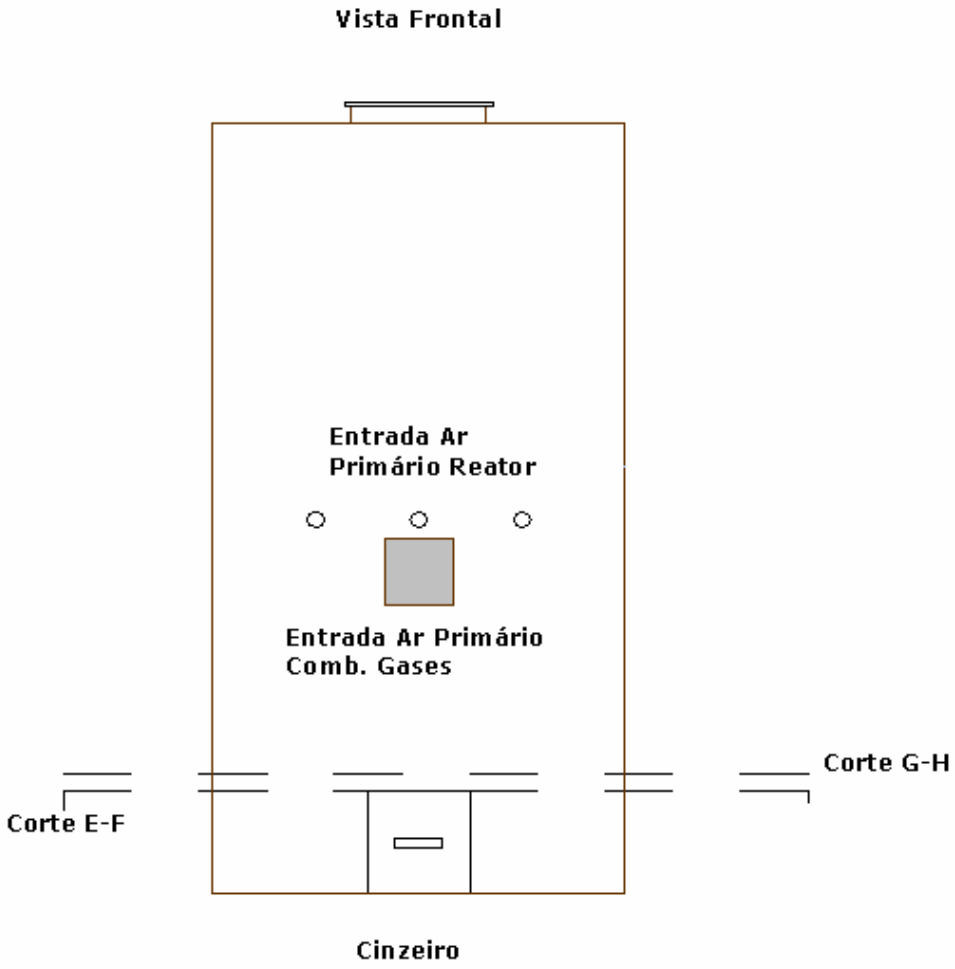


Figura 32A: Vista superior do gaseificador com cortes acima do cinzeiro

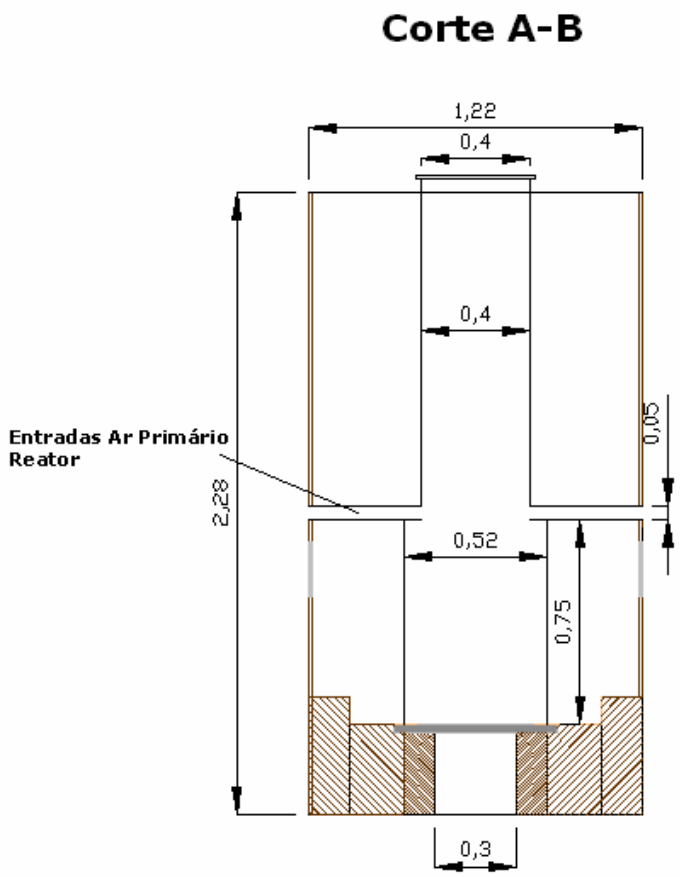


Figura 33A: Corte A-B do gaseificador com distâncias

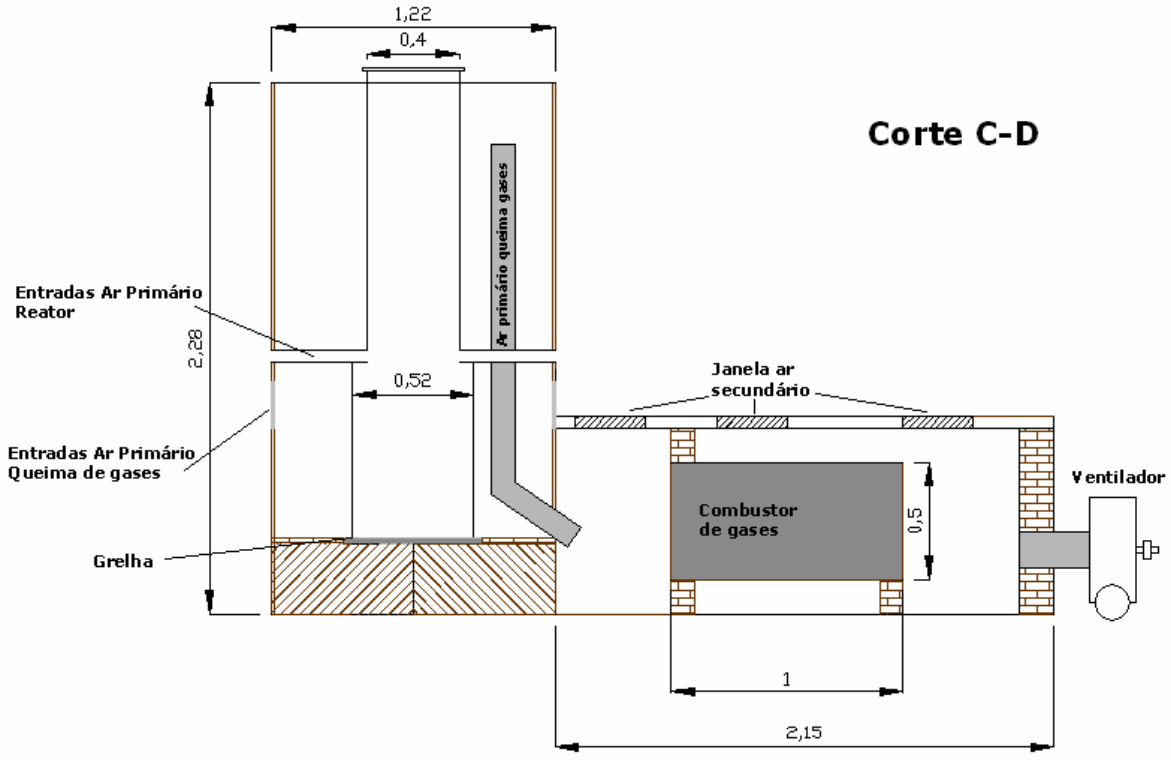


Figura 34A: Corte C-D do gaseificador

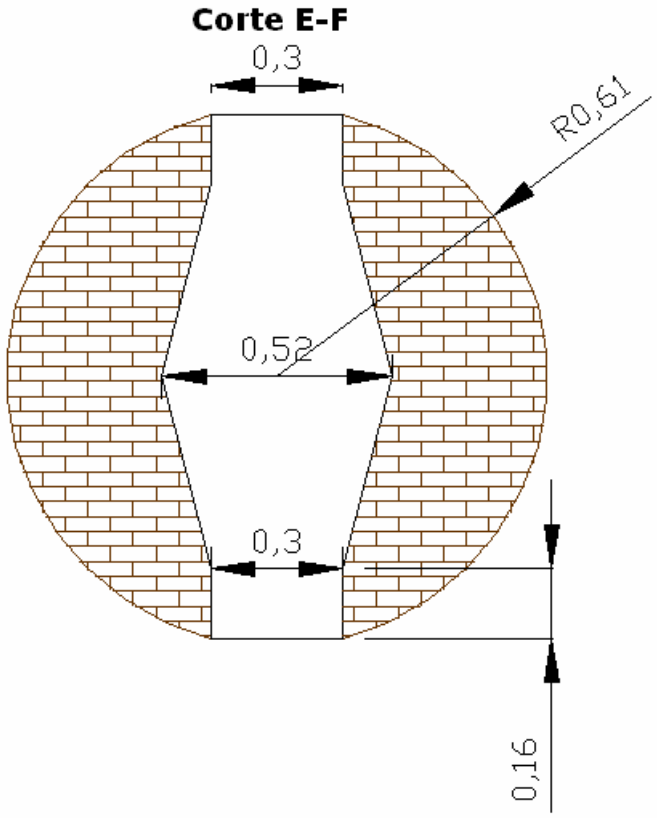


Figura 35A: Corte E-F do gaseificador (base antes da instalação da grelha)

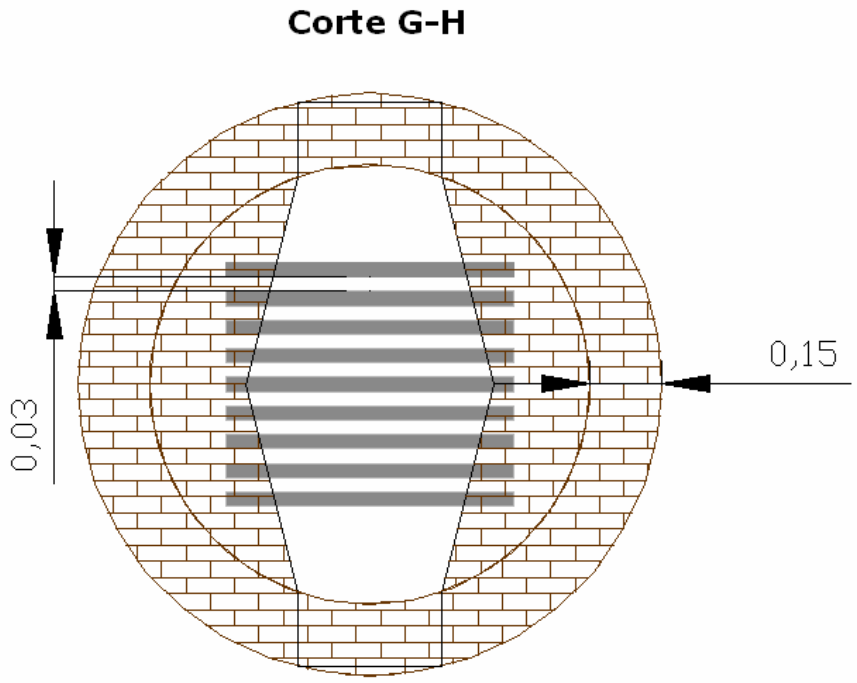


Figura 36A: Corte G-H do gaseificador (base após a instalação da grelha)

**Cálculo para obtenção da potência necessária ao gaseificador**

Para tanto foi calculada a potência da fornalha instalada na granja em comparação a potência do gaseificador construído na UFV. Tendo em vista que os dois aquecedores apresentaram mesma potência, para a construção do gaseificador na granja NR Alimentos, usou-se o mesmo dimensionamento feito por MARTIN (2005) no protótipo do gaseificador construído na área experimental da UFV.

**Fornalha**

**Q ventilador:** 52m³.min$^{-1}$
**Temperatura do ar de saída:** 60°C
**Funcionamento médio:** 21 dias
**Consumo médio final de lenha de eucalipto:** 21 m³ . ciclo de operação$^{-1}$
**Média de funcionamento diário:** 10 horas
**Eficiência fornalha:** 0,45 (de acordo com dados da revisão bibliográfica sobre fornalhas de fogo indireto, uma boa fornalha apresenta eficiência em torno de 45%)
**$PCI_{lenha}$:** 16.000 kJ.kg$^{-1}$

**Consumo médio diário:** $\frac{21m^3}{21dias} = 1m^3 \cdot dia^{-1} \times 450kg \cdot m^{-3} = 450kg \cdot dia^{-1}$

**Consumo médio por hora de funcionamento:** $450\,kg \div 10\,horas = 45\,kg \cdot hora^{-1}$

**Energia (hora de funcionamento):** $45kg \cdot hora^{-1} \times 16.000kJ \cdot kg^{-1} = 720.000kJ \cdot hora^{-1} \times 0{,}45 = 324MJ \cdot hora^{-1}$

**Protótipo do Gaseificador instalado na UFV:**

**Q ventilador:** 42 m³.min$^{-1}$
**Temperatura do ar de saída:** 100°C
**Eficiência gaseificador:** 0,7 (dado médio de eficiência de um gaseificador concorrente, sendo que a eficiência pode chegar a 0,9)
**Consumo médio por hora de funcionamento:** 29 kg.hora$^{-1}$
**Energia (hora de funcionamento):** $29kg \cdot hora^{-1} \times 16.000kJ \cdot kg^{-1} = 464.000kJ \cdot hora^{-1} \times 0{,}7 = 324{,}8MJ \cdot hora^{-1}$

# Livros Grátis

( http://www.livrosgratis.com.br )

Milhares de Livros para Download:


Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo