

CLÁUDIO ELIAS DA SILVA

**COMPARAÇÃO DE PAINÉIS EVAPORATIVOS DE ARGILA EXPANDIDA E
CELULOSE PARA SISTEMA DE RESFRIAMENTO ADIABÁTICO DO AR EM
GALPÕES AVÍCOLAS COM PRESSÃO NEGATIVA EM MODO TÚNEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 25 de novembro de 2002.

Prof. Tadayuki Yanagi Junior

Prof. Cecília de Fátima Souza

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Conselheiro)

Prof. Jadir Nogueira da Silva
(Conselheiro)

Prof. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Orientadora)

A Deus
À Nice, minha esposa,
nossa filha Julia.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa – UFV, ao Departamento de Engenharia Agrícola e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

À Cooperativa Agrícola Mista Vale do Piquiri Ltda - Coopervale, seus diretores e funcionários, pelo apoio dado na fase de experimentação, pela oportunidade concedida.

À orientadora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pela orientação e amizade.

Aos Professores da UFV, Adílio, , Cecília, Fernando Baêta, Jadir , Paulo Cecon, Sérgio Zolnier e Tadayuki, pelos ensinamentos e pelas sugestões.

Aos Professores Richard S. Gates e Hongwei Xin, pelos aconselhamentos.

Aos colegas de curso, o estudante Marcos e ao funcionário Pedro Hilário.

A minha, esposa, filha, mãe, ao meu sogro Paulo Ribeiro Soares e cunhados pelo apoio e incentivo durante esse período.

BIOGRAFIA

CLÁUDIO ELIAS DA SILVA, filho de José da Silva e Marlene Martins Jales, nasceu em 02/04/1968, na cidade de Cajuri, Estado de Minas Gerais.

Em março de 1991, ingressou no Curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa – UFV, onde cursou 4 anos.

Em março de 1995, na mesma Instituição de Ensino, iniciou o Curso de Engenharia Civil, com término em dezembro de 1997.

Em agosto de 2000, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG, concentrando seus estudos na área de Construções Rurais e Ambiente.

CONTEÚDO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVO.....	5
3.REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1. Panorama da Avicultura Brasileira.....	6
3.2. A ave e o ambiente.....	7
3.3. Acondicionamento térmico das instalações avícolas.....	10
3.3.1. Ventilação forçada simples.....	10
3.3.2. Resfriamento evaporativo do ar.....	11
3.3.3. Sistemas com material poroso (PAD).....	13
3.3.4. A argila expandida como material poroso.....	14
3.3.5. Sistema de ventilação em modo túnel.....	16
3.3.6. Manejo do sistema de ventilação forçada em modo túnel com uso de pressão negativa.....	17
3.4.Produção de frangos de corte em alta densidade.....	18
3.5. Índices do ambiente térmico.....	19
3.5.1.Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).....	19
3.5.2. Carga térmica de radiação (CTR).....	21
3.5.3. Umidade relativa do ar (UR).....	21

3.6. Eficiência de resfriamento das placas evaporativas.....	22
3.7. Avaliação de desempenho das aves.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1. Galpões experimentais e sistema de acondicionamento ambiente.....	24
4.2. Instrumentos e medições.....	27
4.3. Determinação da eficiência de resfriamento das placas evaporativas.....	29
4.4. Índices do ambiente térmico.....	29
4.5. Delineamento experimental.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1. Avaliação do conforto térmico ambiente.....	31
5.2. Análise da carga térmica de radiação (CTR).....	35
5.3. Umidade relativa do ar.....	38
5.4. Análise da eficiência evaporativa dos painéis.....	41
5.5. Avaliação dos índices de desempenho produtivo das aves.....	43
5.5.1. Consumo de ração (CR).....	43
5.5.2. Ganho de peso (GP).....	44
5.5.3. Peso vivo (PV).....	46
5.5.4. Conversão alimentar (CA).....	48
5.5.5. Taxa de mortalidade (TM)	49
6. RESUMO E CONCLUSÕES.....	52
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	55
APÊNDICE	67

RESUMO

SILVA, Claudio Elias da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2002.
Comparação de painéis evaporativos de argila expandida e celulose para sistema de resfriamento adiabático do ar em galpões avícolas com pressão negativa em modo túnel. Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.
Conselheiros: Adílio Flauzino de Lacerda Filho e Jadir Nogueira da Silva.

Em regiões de climas tropicais e subtropicais, a exemplo do Brasil, os altos valores de temperatura e umidade relativa do ar, sobretudo no verão, têm se mostrado como fatores que mais afetam a produção de frango de corte. Visando promover o arrefecimento térmico e melhorar o ambiente interno das instalações, a avicultura industrial brasileira vem adotando sistemas climatizados com ventilação em modo túnel associados a sistema de resfriamento evaporativo composto de placas de material poroso umedecido por gotejamento ou aspensor. Usualmente são empregados neste sistema placas de celulose as quais, embora tenham mostrado satisfatório desempenho no arrefecimento do ar, apresentam diversos problemas, tais como: custo elevado (cerca de 11% do total do investimento), baixa durabilidade e dificuldade de aquisição, pois se trata de material importado. Assim, esta pesquisa teve como objetivo estudar a possibilidade de substituição da celulose por argila expandida (comercialmente denominada cinasita) a qual é produto alternativo e de custo reduzido e facilmente obtido no Brasil. O experimento se deu em condições de verão, durante os meses de fevereiro e março de 2001, em instalações avícolas da COOPERVALE Ltda, situada na cidade de Palotina, Paraná. Esta pesquisa foi desenvolvida visando a comparação do efeito dos painéis de celulose e de argila expandida (confeccionada conforme recomendação prática) no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de frangos de corte criados em alta densidade de alojamento em galpões avícolas comerciais equipados com sistema de ventilação

negativa em modo túnel, associado a resfriamento evaporativo. O conforto térmico ambiente foi avaliado por meio do Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR) e Umidade Relativa do ar (UR), obtido a cada duas horas no intervalo de 8 às 18 horas. O desempenho produtivo de frangos de corte, com idade de 21 a 42 dias de idade, foi obtido semanalmente, tendo sido avaliado; ganho de peso, consumo de ração, peso vivo, conversão alimentar e mortalidade. Avaliou-se também a eficiência dos distintos painéis evaporativos no arrefecimento térmico do ar no interior do galpão (EF). Os resultados foram interpretados estatisticamente por meio de análise de variância e regressão, sendo que as médias dos fatores qualitativos foram comparadas pelos testes F e/ou Tukey, adotando-se níveis de 5% de probabilidade. Com base neste trabalho, conclui-se que os painéis de celulose proporcionaram melhores índices de conforto térmico (ITGU, CTR, UR) e eficiência evaporativa no arrefecimento térmico (EF) do que os de material alternativo, cinasita. A cinasita demonstrou bom potencial para utilização como painel evaporativo, entretanto há necessidade de posteriores investigações visando melhor dimensionamento.

ABSTRACT

SILVA, Claudio Elias da, M.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2002.

Comparison between the evaporative panels made of swollen clay and those made of cellulose for the air adiabatic cooling system in poultry hangars provided under negative pressure and tunnel-type ventilation.

Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Committee members: Adílio Flauzino de Lacerda Filho and Jadir Nogueira da Silva.

In regions with tropical and subtropical climates, such as Brazil, the high values of temperature and air relative humidity (specially during summer) have shown to be the main factors affecting the production of broiler chickens. In order to promote the thermal cooling and improve the internal environment in the facilities, the Brazilian industrial poultry raising has adopted the acclimatized systems provided with tunnel-type ventilation associated to the evaporative cooling system, which consists of porous material plates moistened by either dripping or sprinklers. The cellulose plates have been usually used in this system. Although these plates have shown a satisfactory performance when cooling the air, they present several problems, such as the high cost (about 11% of the total investment) and the low durability and acquisition difficulty, since they are an imported material. So, this research was carried out to study the possibility to replace the cellulose by swollen clay (commercially called "cinasita"), which is an alternative and low-cost product easily obtained in Brazil. The experiment was carried out from February to March 2001, under summer conditions, in the poultry facilities of COOPERVALE Ltda, Palotina, Paraná State. A comparison was performed for the effects of both the cellulose and the swollen clay panels (made according to practical recommendation) upon the thermal environmental comfort and the productive performance of broiler chickens raised at high-density lodging, in poultry commercial hangars provided with negative tunnel-type ventilation system associated to evaporative cooling. The thermal environmental comfort was evaluated by the Black Globe Temperature and Humidity Index (ITGU), Radiant Thermal Charge (CTR) and the Air Relative Humidity

(UR), obtained each two hours from 8 to 18 hours. The productive performance of the broiler chickens aged 21 to 42 days was weekly obtained. Evaluation was performed for: weight gain, ration consumption, alive weight, food conversion, and mortality. The efficiency of the different evaporative panels in thermally cooling the air within the hangar (EF) was also evaluated. The results were statistically interpreted by both variance and regression analyses, whereas the averages of the qualitative factors were compared by the tests F and/or Tukey, by adopting the probability levels of 5%. According to the results, the following conclusions were drawn: the cellulose panels provided the best indexes for thermal comfort (ITGU, CTR, UR) and for the evaporative efficiency over thermal cooling (EF) than those of the alternative material ("cinasita"). "Cinasita" showed a good potential to be used as evaporative panel. However, further investigations into a better dimensioning should be made.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a avicultura de corte é uma atividade relativamente nova, apesar de ter tido seu início na década de 30, como atividade fornecedora de esterco para os cafezais de São Paulo. Assim, somente se tornou um empreendimento econômico a partir da década de 60, com o aumento da população urbana (CAMPOS, 2000).

Na década de 60, um frango atingia, aproximadamente, 1,5 kg de peso vivo aos 105 dias de idade, apresentando uma conversão alimentar de 3,5. Há cinco anos atrás, estes índices haviam evoluído para uma situação em que o frango alcançava, aproximadamente, 2,5 kg de peso vivo aos 44 dias de idade, com conversão alimentar de 1,85 (TENDÊNCIAS, 1997).

Sendo a carne de frango uma fonte de proteína de ótima qualidade e de preço acessível à população de baixa renda, observou-se, na década de 90 um aumento considerável de seu consumo em relação à carne bovina e suína. Em 1972, o consumo per capita no Brasil era de 3,0 kg de carne de frango, 24,1 kg de carne bovina e 6,6 kg de carne suína. Em 2001, estes valores saltaram para 24,5; 37,0 e 10,0 para carne de frango, bovina e suína, respectivamente (CONAB,2001).

Em nível mundial, a abertura das fronteiras comerciais, devido ao processo de globalização da economia, trouxe para o Brasil um crescente aumento das exportações de carne de frango, sobretudo para os países do oriente médio. Este fato proporcionou ao país a manutenção da posição de destaque da avicultura no cenário nacional e internacional, ocupando em 2001 o segundo lugar na produção mundial de frango de corte (MIRADA, 2001).

Por outro lado, a criação de frangos de corte no Brasil continua apresentando desafios à medida que a atividade atinge novos e mais altos patamares de produtividade. Dentre estes desafios destaca-se o controle dos fatores ambientais,

uma vez que os elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar dentro dos galpões, especialmente no verão, são limitantes para se alcançar ótima produtividade avícola (MACARI e FURLAN,1994).

Segundo FERREIRA (1996) e MEDEIROS (1997), o desenvolvimento da avicultura se deve ao melhoramento genético, à nutrição, à sanidade e ao manejo das aves, sendo que, neste último, destacam-se as instalações e equipamentos. Porém, de acordo com MATIAS e PATARRA (1995), a rapidez no ganho de peso tem causado problemas cardíacos e pulmonares aos animais, visto que as instalações não acompanharam esta evolução, no sentido de oferecer um ambiente termicamente confortável.

O ambiente pode ser definido como a soma dos impactos dos circundantes biológicos e físicos e constitui um dos fatores responsáveis pelo sucesso ou fracasso do empreendimento avícola. Neste sentido, a condição ambiental deve ser gerenciada, na medida do possível, para evitar efeitos negativos sobre o desempenho produtivo das aves (MACARI e FURLAN,1994).

Assim, para manter-se competitiva, assegurar margens de lucro compensatórias e atender às exigências ambientais das aves, a indústria avícola começou a criar frangos de corte em alta densidade de alojamento, que significa colocar mais aves por metro quadrado de construção, visando otimizar o sistema, ou seja, instalação, mão-de-obra, equipamentos, etc. Contudo, o maior número de aves alojadas por área, implica em maior produção de calor e umidade, exigindo portanto, a incorporação de modificações primárias e secundárias nas instalações para promover ambientes com condições mais próximas à faixa termoneutra para as aves (GOLDFUS, 1994).

As modificações primárias são aquelas feitas puramente por meio natural como, por exemplo: a localização, a orientação, a disposição dos galpões (um em relação ao outro), as características do material de cobertura, dentre outras. Contudo, o acondicionamento térmico natural nem sempre é suficiente para manter o conforto térmico em níveis satisfatórios em todas as regiões brasileiras. Nesse caso, deve-se lançar mão, também, das modificações secundárias ou acondicionamento térmico artificial, que pode ser feito por meio da ventilação forçada simples ou por meio do sistema de ventilação forçada, associada ao resfriamento evaporativo (BAÊTA e SOUZA, 1997).

Se comparado a outros sistemas de resfriamento de ambientes usuais no Brasil, o sistema de resfriamento adiabático evaporativo é o que possibilita melhores condições de conforto térmico e, conseqüentemente, melhores condições para o desempenho produtivo do animal quando utilizado em instalações abertas (TINÔCO, 1996).

O resfriamento evaporativo é bastante utilizado para melhorar as condições ambientais em instalações avícolas. O processo consiste em mudanças do ponto psicrométrico de estado do ar, ou seja, à medida que se aumenta o conteúdo de água no ar, ocorre redução de sua temperatura. A incorporação de água ao ar pode ocorrer por aspersão, nebulização ou fazendo o ar atravessar uma parede porosa umedecida (placas evaporativas). Assim, o sistema de nebulização e o uso de placas evaporativas são duas diferentes técnicas de resfriamento evaporativo, que podem ser associadas à ventilação forçada de pressão positiva ou negativa (TINÔCO e RESENDE, 1997).

Normalmente utiliza-se como materiais porosos em resfriadores (adiabáticos) evaporativos, placas de madeira, celulose, metais, minerais, vidros, plásticos e cimento. A escolha do melhor material está intimamente ligada à sua durabilidade e eficiência (WIERSMA e STOTT, 1983).

Um material poroso largamente utilizado em galpões climatizados com ventilação negativa são as placas de celulose, compondo painéis de papel corrugado com inclinações, a fim de evitar o carreamento de gotas para dentro da instalação. Porém, estes painéis têm apresentado alguns inconvenientes, tais como baixa durabilidade, devido à sua susceptibilidade ao ataque de roedores e microorganismos; fragilidade física e alto custo.

Um material alternativo, já utilizado em casas de vegetação é a cinasita (argila expandida), a qual corresponde a um agregado leve com geometria aproximadamente esférica. Estas esferas com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com microporos e com uma casca rígida e resistente, são produzidas em grandes fornos rotativos, utilizando argilas especiais que se expandem quando expostas a alta temperatura (1100°C), transformando-se em um produto leve, de elevada resistência mecânica, ao fogo e aos principais ambientes ácidos e alcalinos, como os outros materiais cerâmicos.

As principais características da argila expandida são: a leveza, a resistência, a inércia química, a estabilidade dimensional, e a incombustibilidade, além de

propriedades de isolamento térmico e acústico, possibilitando vários usos na construção civil.

Estudos realizados por TINÓCO et al.(2001), em Viçosa, MG, demonstraram que a cinasita constitui material que possibilita a melhor eficiência em sistemas de resfriamento evaporativo, comparativamente ao carvão e à fibra vegetal.

Considerando-se que o princípio físico é o mesmo, inferiu-se que a cinasita poderia ser empregada em substituição à celulose, no sistema de resfriamento evaporativo, mais especificamente nos galpões avícolas “climatizados” com pressão negativa em modo túnel.

Devido ao fato de a argila expandida ser um material facilmente encontrado no Brasil, bem como possuir características favoráveis de densidade, porosidade, durabilidade e disponibilidade, espera-se que este material satisfaça a todas as exigências de um bom material poroso, podendo substituir, com vantagem econômica, a celulose, dentro do processo de resfriamento evaporativo em granjas comerciais.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa foi desenvolvida com objetivo geral de comparar o efeito dos painéis de celulose e de argila expandida no conforto térmico ambiente e no desempenho de frangos de corte, alojados em galpões avícolas comerciais climatizados, com sistemas de ventilação negativa, em modo túnel, associados ao resfriamento adiabático evaporativo.

Os objetivos específicos foram:

1. avaliar o conforto térmico do ambiente, com base no “índice de temperatura de globo negro” e umidade (ITGU), na “carga térmica de radiação” (CTR) e na umidade relativa do ar (UR);
2. avaliar a eficiência (EF) dos materiais, em proporcionar o resfriamento do ar no interior do galpão;
3. avaliar o desempenho das aves, com base nos índices zootécnicos, conversão alimentar (CA), taxa de mortalidade (TM), consumo de ração (CR), peso vivo médio (PM) e ganho de peso (GP);

3. - REVISÃO DE LITERATURA

3.1- Panorama da avicultura brasileira

A avicultura no Brasil foi uma das atividades agropecuárias de maior desenvolvimento nas últimas décadas. Este progresso, tanto no número de frangos abatidos como no de ovos produzidos, possibilitou à indústria avícola um notável potencial para prover aos consumidores uma fonte protéica saudável e a um custo acessível.

A grande expansão do consumo protéico animal, verificada nos últimos vinte anos, tem alcançado níveis explosivos nos últimos dez anos, devido fundamentalmente à carne de frango, que se tornou ao longo dos anos mais abundante, mais acessível, mais segura e conveniente ao consumidor.

Devido à revolução tecnológica pela qual a exploração avícola tem passado, as atuais granjas podem ser caracterizadas como verdadeiras “fabricas” de produção de proteína animal. O melhoramento genético tem buscado, ao longo dos anos, aves cada vez mais pesadas com melhor conversão alimentar em menor tempo de alojamento.

A participação da avicultura no produto interno bruto (PIB) está em torno de 2,5% e emprega acima de 1,6 milhão de pessoas, radicadas, em sua esmagadora maioria, na zona rural, contribuindo assim, na fixação da população rural e na redução do êxodo rural. Poucos segmentos econômicos tiveram tão expressivo crescimento, principalmente levando em consideração as constantes crises vividas na década de oitenta e os sucessivos planos de estabilização econômica impostos pelos governos.

Hoje o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de carne de frango, ocupando o segundo lugar no ranking mundial.

3.2 A ave e o ambiente

Segundo COSTA (1982), o organismo das aves funciona como verdadeira fonte de calor, necessitando, para desenvolver sua atividade vital, de um desnível térmico em relação ao meio externo. Por esta razão, é necessário que a temperatura ambiente das instalações esteja na faixa de conforto animal, para que este atinja o seu potencial genético.

Condições climáticas inadequadas afetam consideravelmente a produção de frangos de corte. O excesso de frio, principalmente o excesso de calor comum em nossa condição de país tropical, reverte em uma menor produtividade das aves, afetando seu crescimento, sua saúde e levando a situações extremas como altas taxas de mortalidade dos lotes.

As aves, diferentemente da maioria dos animais, possuem pequena quantidade de glândulas sudoríparas para auxiliar nas perdas de calor, sendo assim, a maior parte do calor corporal é dissipado por via latente, ou seja, pela respiração. A velocidade de perda de calor das aves é influenciada pela temperatura ambiental e umidade relativa; assim, quanto maior for a pressão de vapor do ambiente, maior a dificuldade de liberação de calor por meios evaporativos. Para situações de temperatura em níveis próximos a 21°C e umidade relativa menores que 70%, as aves perdem até 75% de calor através dos meios sensíveis: radiação, condução e convecção. Porém, quando a temperatura ambiental aproxima-se da temperatura corporal das mesmas, em média 41°C, seu meio principal de perda de calor passa a ser liberado por via latente, através da respiração (MOURA, 1998).

Contudo, o processo de dissipação de calor por via latente é limitado, pois a hiperventilação pulmonar das aves através da ofegação, leva a perdas significativas de CO₂. Segundo WANG et al (1989), o ofego ocasiona o aumento da perda de dióxido de carbono pelos pulmões, reduzindo a pressão parcial de dióxido de carbono e bicarbonato do plasma sangüíneo. Em consequência, a reduzida concentração de ions de hidrogênio no plasma ocasiona um aumento do pH sangüíneo, o que é comumente denominado de alcalose respiratória. Pesquisas indicam que alcalose sangüínea em frangos inicia-se quando a temperatura ambiente atinge 32°C, o que pode levá-los ao óbito quando o estresse for prolongado.

Outro fator negativo decorrente do ofego das aves, está no fato de que a passagem nasal destas funciona como um filtro à poeira e às bactérias presentes no ar que entra no trato respiratório, e esse sistema é prejudicado quando as aves

ofegam pois abrem o bico para respirar, podendo levar a um aumento na incidência de infecções respiratórias secundárias (MOURA, 1998).

O calor corporal também pode ser liberado pela superfície corporal por radiação através do ar para outra superfície. Também pode ser transferido por condução para qualquer superfície mais fria como as paredes do aviário. O calor corporal também pode ser liberado através de processos convectivos, com uso da ventilação natural ou artificial. Neste caso, a ventilação com uso do ar à temperatura de até 28°C pode possibilitar uma sensação térmica de até 6°C inferior à temperatura ambiente para velocidades do ar em torno de 2,5 m.s⁻¹. Assim, quando a temperatura ambiental se encontra entre 28°C e 30°C, segundo alguns pesquisadores, os processos de trocas térmicas de radiação, condução e convecção são usualmente adequados para manter a temperatura corporal das aves constante (DONALD 1996).

Quando o ambiente térmico encontra-se acima da zona termoneutra, a atividade física é reduzida, diminuindo a produção interna de calor das aves. O sangue migra para a superfície corporal principalmente nas cristas e barbelas. A vasodilatação que ocorre, faz com que as cristas e barbelas aumentem de tamanho. Desta forma o calor metabólico migra à superfície do corpo podendo ser liberado ao ambiente pelos processos de condução, convecção e radiação.

As aves procuram por locais mais frescos no aviário, cavando buracos na cama no intuito de aumentar as perdas de calor por condução já que as pernas e os pés possuem um sistema vascular bem desenvolvido, responsáveis pela perda de calor sensível para o ambiente, o que é facilitado pela ausência de penas.

Para aumentar a liberação de calor para o ambiente, as aves adotam um comportamento diferenciado, abrindo suas asas e mantendo-as afastadas do corpo. Com esse artifício conseguem aumentar sua área de superfície corporal, facilitando as perdas por convecção.

Os animais domésticos geneticamente desenvolvidos, como é o caso do frango de corte, possuem em geral uma capacidade moderada de se proteger do calor intenso. A maioria desses animais, em fase de produção, tem seu potencial de termorregulação melhor desenvolvido para reagir ao frio. Consequentemente, em ambientes onde a temperatura é crítica para as aves, torna-se importante reduzi-la por meio do controle do ambiente da edificação. Desta forma, serão alcançados benefícios para o conforto térmico no interior das instalações, oferecendo às aves

uma temperatura efetiva adequada, sem nenhum desperdício de energia, tanto para compensar o frio, como para acionar seu sistema de refrigeração, a fim de resistir ao calor ambiental.

A temperatura efetiva não se refere unicamente à temperatura ambiental, mas sim a combinação dos efeitos da temperatura de bulbo seco, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento.

A característica mais utilizada pelos pesquisadores na determinação da faixa de termoneutralidade das aves de corte é a idade das mesmas. O pinto recém-nascido por exemplo, possui uma grande relação entre área e volume corporal, o que ocasiona dificuldades na retenção do calor corporal. Além disso, sua capacidade de termoregulação ainda não está bem desenvolvida até 10 a 15 dias após o nascimento. As aves jovens necessitam, portanto, de uma fonte externa de calor que mantenha a temperatura ambiente a 35^oC aproximadamente, mantendo sua temperatura corporal constante, entre 39 e 40 ^oC. Com o desenvolvimento de seu sistema termoregulador e o aumento de sua reserva energética, sua temperatura crítica passa de 35^oC para 24^oC em quatro semanas de idade, chegando a 21^oC na sexta semana de vida, já próximo ao abate. Nesta fase, a temperatura corporal dos frangos na zona termoneutra é de até 41^oC (FREMAM,1988).

A zona de termoneutralidade para aves adultas, tanto para frangos de corte como para galinhas de postura, está em torno de 15 a 25^oC (MILLIGAN e WINN, 1964; REECE et al., 1986; STROM e FUENSTRA, 1980; ISA BABCOCK, 1982; REECE e LOTT, 1982; CURTIS, 1983; ESMAY e DIXON, 1986; TIMMONS e GATES, 1988; ZULOVICH e DESHAZER, 1990).

É importante observar que a faixa ideal de temperatura para um ótimo ganho de peso das aves de corte não corresponde à faixa recomendada para uma eficiência alimentar ideal. KAMPEN (1984), observou em seus experimentos que a máxima taxa de ganho de peso para frangos de corte durante as sexta e sétima semanas de vida ocorre entre 22 e 24^oC e umidade relativa na faixa de 50 a 70%. Entretanto, a máxima eficiência alimentar ocorre aos 27^oC. Por outro lado, a taxa ótima de eficiência alimentar depende da relação entre o custo do produto final e o custo de ração.

3.3. Acondicionamento térmico das instalações avícolas

Em regiões tropicais e subtropicais, a exemplo do Brasil, as limitações climáticas podem ser amenizadas com técnicas apropriadas na concepção das instalações, em conjunto com alimentação racional e manejo adequado. No que concerne às instalações, várias alternativas vêm sendo sugeridas para reduzir a temperatura ambiente interna dos alojamentos, baseadas no acondicionamento térmico natural, como: escolha adequada do local, orientação, concepção arquitetônica (forma, aberturas, beirais e pés-direitos), material para coberturas e fechamentos, paisagismo circundante e ventilação natural. No entanto, verifica-se que, nas regiões de climas muito adversos, torna-se necessária a utilização de recursos artificiais para promover melhorias ao ambiente das aves (PIASENTIN,1984; TEIXEIRA,1983; TINÔCO, 1996).

3.3.1. Ventilação forçada simples

Um sistema artificial freqüentemente utilizado com o objetivo de minimizar o estresse por calor consiste na ventilação forçada dentro das instalações avícolas. De acordo com NÄÄS (1997), o sistema de ventilação forçada constitui o método mais simples para evitar o sobreaquecimento em instalações abertas, possibilitando a renovação do ar, bem como a melhoria das condições termohigrométricas deste, o que pode representar fator de melhora no conforto térmico de verão, por incrementar trocas de calor por convecção e evaporação.

Em condições de calor, a movimentação do ar é fator indispensável para a melhoria das condições ambientais, principalmente de duas maneiras: primeiro - aumentando-se a velocidade do ar para temperaturas ambientes abaixo da corporal, aumenta-se a dissipação de calor por convecção e por evaporação; e segundo - promovendo-se a renovação do ar ao redor dos animais por outro ar mais frio, o que favorece a dissipação de calor do animal para o ambiente e possibilita a circulação do ar com maiores índices de oxigênio e menores de gás carbônico.

O que se observa na prática, contudo, é que a forma como usualmente vêm sendo empregados os ventiladores em instalações abertas não é satisfatória, em virtude da dispersão da corrente de vento por fluxos de ar naturais, muitas vezes em sentidos opostos (BAÊTA e SOUZA, 1997).

Em experimento para estudar o posicionamento de ventiladores em galpões abertos para frangos de corte, FERREIRA (1996) concluiu que a ventilação com fluxo transversal foi a que possibilitou melhores resultados de ambiente térmico e índices de desempenho animal, ressaltando, contudo, a grande influência dos ventos dominantes com relação à direção do fluxo de ar.

Outro aspecto a considerar é que o sistema de ventilação forçada, mesmo quando bem planejado, nem sempre é satisfatoriamente eficiente, pois não possibilita a redução de temperatura do ar; dessa forma, a menor temperatura que se poderá obter no interior do galpão será aquela do ar externo usado para ventilação. Vale a ressalva de que o efeito benéfico da ventilação na dissipação de calor sensível corporal se anula quando a temperatura do ar se equipara à temperatura corporal da ave, tornando-se prejudicial para temperaturas do ar mais elevadas. Neste caso, torna-se necessário o pré-resfriamento do ar a ser circulado no ambiente (TINÔCO, 1996).

3.3.2 Resfriamento evaporativo do ar

O ar atmosférico é uma mistura de ar seco e vapor d'água. Para uma dada condição de temperatura e pressão esta mistura tem capacidade de conter uma quantidade de vapor d'água (ar saturado = 100% de umidade relativa). Na prática esta condição de ar saturado só é observada durante e logo após uma chuva. Normalmente o ar encontra-se insaturado e, portanto, apto a absorver mais vapor d'água. Para que haja esta absorção é necessário que a água passe da fase líquida para vapor. Esta mudança de fase demanda uma quantidade de energia que é retirada do ar, resfriando-o.

Assim, quando um litro de água evapora, consome aproximadamente 580 kcal. E a mesma quantidade de energia necessária para resfriar 60 litros de água de 30°C até 20°C, ou para resfriar 208 m³ de ar dos mesmos 30°C até 20°C (LEE e SEARS, 1976).

Genericamente, o resfriamento evaporativo ocorre quando algum meio ou produto cede calor para que a água evapore. A evaporação de um produto qualquer é um processo endotérmico, isto é, demanda calor para se realizar. Esta transferência de calor pode ser forçada (quando fornecemos o calor) ou induzida (quando criamos condições para que o produto retire calor do meio), fazendo com

que o ar mude seu ponto de estado psicrométrico para maior umidade e menor temperatura, mediante o contato do ar com uma superfície umedecida ou líquida, ou com água pulverizada ou aspergida (WIERSMA e STOTT, 1983).

Existe um princípio básico nas reações físico-químicas segundo o qual quanto maior a superfície de contato entre os reagentes, maior a velocidade da reação. Assim sendo, deve-se procurar aumentar a área de contato entre a água e o ar.

Uma maneira de aumentar a superfície de troca de calor entre a água e o ar é através de chuveiros, “sprays” ou atomização. A nebulização é um sistema que aumenta muito a superfície de uma gota d’água exposta ao ar, o que assegura a evaporação mais rápida. Um nebulizador bem calibrado, com água limpa, é capaz de dividir uma gota d’água em cerca de 611 gotículas com diâmetro de 0,05mm e área total de 850 vezes maior (MARQUES,1992).

Segundo CZARICK e TYSON (1990), nas instalações com sistema em túnel, as finas gotículas emitidas pelos nebulizadores tendem a permanecer suspensas por mais tempo, aumentando a probabilidade de evaporação. Como desvantagem deste tipo de umidificação está o fato de que a água lançada no ambiente, mesmo que micro-pulverizada, pode encontrar uma região já saturada, o que fará com que não seja absorvida pelo ar e se precipite, molhando as aves, equipamentos e a cama. Mesmo sistemas com umidostatos e válvulas solenóides, que cortam o fluxo de água quando determinada umidade relativa é atingida, tendem a gotejar nos bicos até a estabilização da pressão de água no sistema.

Segundo MOURA (1998), os sistemas de resfriamento evaporativo tipo “Pad”, o qual consiste em forçar a passagem do ar por material poroso umedecido são geralmente mais efetivos e eficientes para redução de temperatura em aviários. Com este processo, o ar externo é resfriado antes de ser conduzido, por ventilação ao interior do galpão.

De acordo com WIERMA e STOTT (1983), os fabricantes norte americanos de resfriadores evaporativos têm utilizado como material poroso fibras de madeira, celulose, metais, minerais vidros e plásticos; a escolha desses materiais está na dependência de durabilidade e eficiência, área necessária para entrada de ar, espessura e pressão estática.

Segundo Winn e Godfrey, citados por WILSON et al.(1983), os sistemas de resfriamento evaporativos, embora possibilitem redução substancial da temperatura, o fazem com conseqüente aumento da umidade relativa do ar, diminuindo a

quantidade de calor dissipado pelo animal na forma evaporativa, podendo ser um fator limitante que precisa ser investigado para cada região climática. Todavia, segundo CANTON et al. (1983), é possível notar no ciclo diurno das regiões úmidas que a maior temperatura de bulbo seco é acompanhada pela menor umidade relativa, o que possibilita o uso do sistema nas horas de maior estresse calórico nessas regiões.

3.3.3 Sistemas com material poroso (“PAD”)

Os sistemas de resfriamento tipo “Pad” são geralmente os sistemas mais efetivos e eficientes para a redução de temperatura nos aviários. Os “Pads” são dimensionados para oferecer eficiência de resfriamento evaporativo do ar em torno de 80%.

Tal sistema consiste em água escorrendo dentro de um painel composto pelo material poroso, por onde o ar atravessa antes de entrar no galpão.

Um material largamente utilizado em “Pads” é a celulose (Figura 1), na forma de papelão corrugado com inclinações a fim de evitar o carreamento de gotas d’água para dentro da instalação.

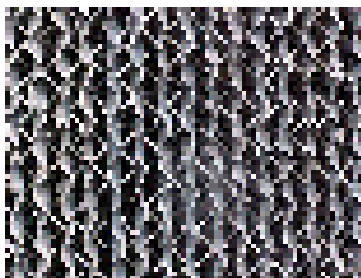


Figura 1 - Vista frontal do painel de celulose.

A velocidade com que o ar atravessa o “Pad” é de fundamental importância na eficiência do mesmo, pois o tempo de contato deste com a camada limite junto ao material é determinante na troca de calor.

A queda de pressão dinâmica do ar ao atravessar o material poroso também é um fator decisivo no dimensionamento de um “Pad”, pois afeta a velocidade do ar dentro da instalação e o consumo de energia elétrica dos exaustores.

A vazão da água que passa pelos “Pads” deve ser suficiente para limpar a sujeira e os sais minerais sem deixar que se acumulem nos mesmos. Para se estabelecer o tamanho da bomba a ser usada no molhamento do sistema, é necessário determinar a vazão. Uma recomendação típica dos fabricantes corresponde a uma vazão de $0,14 \text{ l.s}^{-1}$ e $0,18 \text{ l.s}^{-1}$ por metro linear de “Pad” com celulose de 10 cm e 15 cm de espessura, respectivamente.

Por ser um material frágil os “Pads” de celulose necessitam de certos cuidados; assim, para se evitar a formação de algas, que requerem luz, umidade e nutrientes para se desenvolverem, é preciso sombrear os “Pads” e utilizar algicidas nos reservatórios quando o sistema estiver desligado.

A vida útil dos “Pads” pode ser aumentada com a limpeza da água, por meio de filtragem e drenagem, controle de algas, esvaziamento e limpeza periódica do reservatório e a própria limpeza dos “Pads”. Para se verificar a eficiência do “Pad” pode ser usado um psicrômetro a fim de verificar possíveis problemas.

Apesar de todos os cuidados, devido ao clima predominantemente quente e úmido, os “Pads” de celulose têm durabilidade relativamente baixa no Brasil, sendo ainda susceptível a ataque de roedores, o que as vezes pode inviabilizar seu uso. Ademais, por ser um material importado, seu custo acompanha as variações do câmbio, chegando a representar 11% do custo total do galpão.

3.3.4 A argila expandida como material poroso

A argila expandida (CINASITA) é um agregado que apresenta forma aproximadamente esférica de cerâmica leves, com uma estrutura interna formada por um tipo de espuma cerâmica com microporos e uma casca rígida e resistente. É produzida em grandes fornos rotativos, utilizando argilas especiais que se expandem quando expostas a altas temperaturas (1100°C), transformando-as em um produto leve, de elevada resistência mecânica, ao fogo e aos principais ambientes ácidos e alcalinos, como os outros materiais cerâmicos (Figura 2).

Suas principais características são: leveza, resistência, inércia química, estabilidade dimensional, incombustibilidade, além de propriedades de isolamento térmico e acústico, possibilitando vários usos na construção civil.

Estudos realizados por (TINÔCO et al., 2001) em Viçosa , MG, demonstraram que a cinasita apresenta-se como um material que possibilita a melhor eficiência em sistemas de resfriamento evaporativo, comparativamente ao carvão e a fibra vegetal.

Considerando-se que o princípio físico é o mesmo, TEIXEIRA (1983) infere que a argila expandida poderia ser utilizada alternativamente à celulose, nos painéis componentes dos sistemas de resfriamento evaporativo, e na produção animal, mais especificamente nos galpões avícolas “climatizados” com pressão negativa em modo túnel.



Figura 2 – Vista frontal do painel de Argila expandida.

3.3.5 Sistema de ventilação em modo túnel

O sistema de ventilação forçada em modo túnel pode ocorrer com uso de ventilação positiva ou negativa. Em ambos os casos este sistema consiste em promover a renovação do ar, seguindo um fluxo que passe por toda extensão (comprimento) do aviário, preferencialmente entrando por aberturas localizadas em uma das extremidades e saindo por exaustores localizados na extremidade oposta, como pode ser visualizado na Figura 3.

Podem existir diferenciações na localização das entradas de ar e exaustores: com entradas de ar nas duas extremidades do aviário, e exaustores posicionados no centro das paredes laterais, há contudo um predomínio de projetos contemplando exaustores e entradas de ar em extremidades opostas.

Do exposto, e de acordo com TINÔCO e RESENDE (1997), o sistema de ventilação forçada em modo de túnel consiste em movimentar a massa de ar no sentido longitudinal do galpão. Para tanto, nos galpões avícolas convencionais, tornam-se necessários o seu fechamento lateral, por meio de cortinas bem vedadas

e a criação de aberturas nas duas extremidades. Se o galpão for dotado de lanternins, estes devem ser

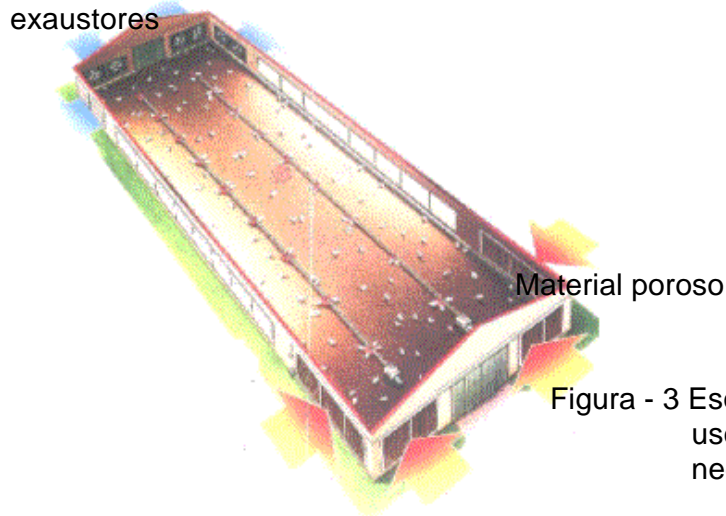


Figura - 3 Esquema do galpão avícola com uso de ventilação forçada negativa em modo túnel.

fechados no período em que o sistema é acionado. Algumas vezes a utilização de um forro para reduzir o volume de ar a ser carregado é desejável. Os ventiladores são colocados numa extremidade do galpão, de forma que o ar, succionado por uma extremidade percorra do modo mais uniforme possível todos os pontos do galpão saindo pela extremidade oposta.

Segundo DONALD (1996), a ventilação em túnel com $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ pode gerar uma sensação térmica que corresponde a 6°C abaixo da temperatura registrada no termômetro de bulbo seco.

Quando a ventilação em forma de túnel for associada a um sistema de resfriamento evaporativo, ocorre o arrefecimento da temperatura do ar, situação muito desejável nos momentos de estresse pelo calor (TINÔCO e RESENDE, 1997). Nas regiões mais quentes e secas, vários trabalhos realizados nos Estados Unidos da América mostram que o decréscimo na temperatura do ar por via evaporativa, em instalações mais fechadas, pode chegar a $11-12^\circ\text{C}$, (WIERSMA e STOTT, 1983). No caso do Brasil e em instalações abertas, TINÔCO (1996), verificou decréscimos de 6°C na temperatura do ar em condições de verão.

ZANOLLA (1998), estudando no verão, o efeito da ventilação positiva em modo túnel e ventilação positiva lateral na criação de frangos de corte em alta densidade de alojamento na região do Norte de Minas, concluiu que a ventilação em modo túnel propiciou ganho de peso de 39 g/ave superior ao sistema de ventilação

lateral; contudo, os valores de umidade da cama para o sistema de ventilação em modo túnel foram superiores aos obtidos na ventilação lateral.

3.3.6 - Manejo do sistema de ventilação forçada em modo túnel com uso de pressão negativa

O manejo dos galpões climatizados com ventilação negativa em modo túnel é feito em três etapas. A primeira é a de ventilação mínima, quando a temperatura externa é inferior à desejada dentro do galpão, o que pode ocorrer no inverno ou na fase inicial da vida da ave. Para funcionamento da ventilação mínima, aciona-se exaustores com o fim apenas de renovar o ar, sem provocar queda na temperatura no interior do galpão. Estes exaustores trabalham em intervalos de tempo que variam de acordo com o número de aves alojadas, com a temperatura interna desejada, com as dimensões do galpão e o tipo de aquecimento usado.

Numa outra etapa, quando a temperatura externa ao galpão se aproxima da temperatura desejada para o conforto térmico das aves, trabalha-se com o aproveitamento da ventilação natural, através da abertura das cortinas, em níveis compatíveis com desejado.

A ventilação em modo túnel entra em funcionamento quando a temperatura interna do galpão é maior do que a desejada para o conforto das aves. O funcionamento desse sistema ocorre em fases. Primeiro, as laterais são vedadas através do fechamento das cortinas principais. Ao mesmo tempo, abrem-se cortinas das entradas de ar, que ficam junto às placas evaporativas. Contudo, nesta fase, ainda não há umedecimento da placa. Os exaustores entram em funcionamento provocando uma pressão negativa que forçará a entrada de ar externo oposto do galpão. Inicialmente, entram em ação um número de exaustores suficientes para fornecer uma velocidade do ar de um metro por segundo. À medida em que a temperatura no interior do galpão aumenta vão entrando em funcionamento outros exaustores, sucessivamente, até que o último seja ligado, atingindo-se uma velocidade do ar de dois metros e meio por segundo que é a máxima tolerada pelas aves sem estressá-las.

3.4. Produção de frangos de corte em alta densidade

A partir da globalização da economia mundial, o setor agro-industrial expandiu suas fronteiras mercadológicas e a competitividade se tornou ainda maior. Como resultado disto, os produtores de frango de corte, para se manterem na atividade e para atender às novas exigências do mercado, tiveram que aumentar sua produção reduzindo custos fixos.

Assim, para manter-se competitiva e assegurar margens de lucro compensatórias, a indústria avícola brasileira necessitou criar frangos de corte em alta densidade de alojamento. Em avicultura, a expressão “alta densidade”, significa colocar mais aves por metro quadrado de construção, visando otimizar o sistema, ou seja, instalação, mão-de-obra, equipamentos etc. Contudo, maior número de aves alojadas por área, implica em maior produção de calor e umidade, exigindo, adicionalmente, a incorporação de modificações primárias e secundárias nas instalações para oferecer ambientes mais próximos da faixa termoneutra para as aves. Assim, para que a produção de frangos de corte seja possível, torna-se necessário uma modernização das instalações e equipamentos de forma a possibilitar o controle térmico ambiental.

Um dos primeiros trabalhos com alta densidade realizados na Universidade Federal de Viçosa foi o de GRAÇAS et al. (1981), em que se recomendou a criação de até 18 aves/m²; entretanto, nenhum sistema artificial de acondicionamento de ambiente foi utilizado ou testado na ocasião. Posteriormente ZANOLLA (1998); FONSECA (1998) e MATOS (2001) estudaram diferentes sistemas de acondicionamento do ambiente (ventilação positiva em modo túnel com pressão positiva e ventilação positiva lateral) em alta densidade de alojamento.

MATOS (2001) concluiu que a criação de 18 aves/m² possibilitou uma produção média de carne por unidade de área de 12,5% superior àquela obtida na criação com 16 aves/m², sem comprometimento dos índices médios finais de desempenho zootécnico do plantel.

Os dados médios de ganho de peso, conversão alimentar, peso vivo e taxa de mortalidade apresentaram valores aproximados para as três densidades estudadas; contudo, houve tendência de melhores resultados nas densidades de 14 e 16 aves/m², em relação à de 18 aves/m² (FONSECA, 1998).

Ambos sistemas de acondicionamento térmico de ambiente estudado por ZANOLLA (1998), ventilação positiva em modo túnel e ventilação lateral, propiciaram

a elevação da densidade de criação das aves em 40% e possibilitaram melhores resultados de desempenho produtivo do plantel em relação à média obtida em lotes anteriores, criados nos mesmos galpões, porém sem nenhum sistema de arrefecimento térmico.

3.5. Índices do ambiente térmico

Os animais convivem melhor ou pior com as condições térmicas à sua volta em função de sua capacidade de troca de calor sensível e latente com os respectivos meios circunvizinhos. O ambiente térmico pode ser avaliado com base em índices que levam em consideração a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar e, a radiação solar direta e indireta.

O conhecimento das necessidades dos animais e o estudo das condições climáticas do local em que será implantado o sistema de acondicionamento térmico ambiente permitem definir técnicas e dispositivos de construções que o tornem mais eficiente.

Segundo McDOWELL (1975), a temperatura do ar é, provavelmente, o fator bioclimático que mais influencia o ambiente físico do animal. A temperatura do ambiente é de suma importância no conforto do animal e no funcionamento dos seus processos fisiológicos, porém apenas a temperatura do ar não é suficiente para avaliar as condições térmicas ambientais. Para isso, deve-se acrescentar também a esta, outras variáveis, como a umidade relativa, a velocidade do ar e a radiação solar.

3.5.1. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

BUFFINGTON et al. (1977) propuseram o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), o qual integra os efeitos da umidade, da velocidade do ar, da temperatura do bulbo seco e da radiação em um único valor. Este índice, que é o mais utilizado para as condições de clima tropical, é representado pela equação:

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

em que

T_{gn} = temperatura do globo negro, em graus Kelvin; e

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho, em graus Kelvin.

TEIXEIRA (1983) e PIASENTIN (1984) observaram que valores de ITGU superiores a 75 - 77 indicam desconforto por calor para aves de corte com idade superior a 15 dias.

TEIXEIRA (1983), em pesquisa conduzida em condições de verão, em instalações para frangos de corte na região de Viçosa e Visconde de Rio Branco, Minas Gerais, observou que na primeira semana de vida das aves, os valores do ITGU de 78,5 a 81,6 mostraram-se compatíveis com a conversão alimentar e o ganho de peso.

Na segunda semana de vida, com valores do ITGU variando de 67,4 a 75,6, as aves apresentaram aumento de 44% na conversão alimentar e redução de 30% em ganho de peso, ocorrendo, portanto, desconforto em razão das condições de frio. Da terceira à sexta semana de vida das aves, quando os valores do ITGU variaram entre 65,0 e 77,0, esses índices não afetaram a produção dos frangos, sendo, portanto, compatíveis com a produção no período considerado. Já na sétima semana de vida das aves, os valores do ITGU variando de 73,3 a 80,5 refletiram aumento de 41% na conversão alimentar e redução de 37,2% no ganho de peso dos frangos, portanto, um desconforto em virtude das condições de calor.

PIASENTIN (1984), comparando dois tipos de pisos suspensos, observou que, para o período de quatro a sete semanas de idade das aves, com valores de ITGU variando de 65 a 77, esses índices não influenciaram a produção das aves, sendo estes valores compatíveis com a produção no período considerado.

ZANOLLA (1998), comparando dois sistemas de ventilação (túnel e lateral), na produção de frangos de corte em alta densidade (14 aves/m²), verificou que o consumo de ração foi superior no ambiente que apresentou valores de ITGU entre 79,1 e 82,3 quando comparado ao ambiente com ITGUs variando de 78,5 a 81,4 nas horas mais quentes do dia (10 às 16 horas). Em relação ao peso as aves criadas com valores máximos de ITGU de 84,2, obtiveram maior peso vivo final do que aquelas aves criadas com valor máximo de ITGU de 84,9. O autor observou que a conversão alimentar foi menor no ambiente com valores de 76,5 a 84,2 quando comparada ao ambiente variando de 76,5 a 84,9, e a mortalidade foi maior na Sexta semana de vida das aves no ambiente que apresentou o valor máximo de ITGU de 84,9.

3.5.2. Carga térmica de radiação (CTR)

Outro indicador das condições térmicas ambientais é a carga térmica de radiação (CTR), que, em condições de regime permanente, expressa a carga térmica radiante a que está exposto o globo negro em todos os espaços ou em todas as partes da vizinhança. A carga térmica de radiação quantifica a radiação ambiente incidente sobre o animal, com base na temperatura radiante média (TRM), podendo ser obtida, segundo ESMAY (1982), pela equação (2) de Stefan-Boltzmann:

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

em que

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

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

TRM = temperatura radiante média, em K.

sendo

$$TRM = 100 \times \sqrt[4]{2,51\sqrt{V} \times (t_{gn} - t_{bs}) + (t_{gn}/100)^4} \quad (3)$$

em que

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

T_{gn} = temperatura do globo negro, em graus Kelvin; e

T_{bs} = temperatura do bulbo seco do ar, em graus Kelvin.

A temperatura radiante média (TRM) corresponde à temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra, que elimine o efeito de reflexão, com o qual o corpo (globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto a contida no ambiente considerado (BOND et al., 1955).

3.5.3. Umidade relativa do ar (UR)

Levando em consideração que a principal forma de dissipação de calor pelas aves em temperaturas elevadas ocorre por evaporação via respiratória, pode-se

afirmar que a capacidade da ave de suportar as condições de calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar.

Em regiões com temperaturas elevadas ocorre aumento da frequência respiratória da ave, para aumentar a dissipação de calor por evaporação. Este aumento na perda de água por evaporação induz a ave a aumentar a ingestão de água, tornando as fezes mais líquidas; conseqüentemente, mais umidade é adicionada ao ambiente e à cama, intensificando a dificuldade de dissipação de calor via evaporativa das aves. Assim, a decomposição microbiana de ácido úrico, que resulta em amônia e gás carbônico, é favorecida pela alta umidade; dessa forma, a alta umidade relativa do ar constitui um fator negativo para a produtividade avícola (BAIÃO, 1995).

Os componentes que mais contribuem para aumentar a umidade das instalações avícolas são a água evaporada via respiração e a água eliminada nas fezes (em torno de 70% do peso das dejeções em condições de ambiente na zona de conforto ou próximo a esta). A ave excreta água principalmente pelas fezes, nas quais aproximadamente 25% provêm da urina e os outros 75% se originam do trato digestivo e da respiração. É interessante observar que a quantidade de água excretada nas fezes e na urina varia muito em função da quantidade de água ingerida, que por sua vez é influenciada pela quantidade e natureza da ração ingerida (BAIÃO, 1995).

A umidade relativa do ar (UR) varia de acordo com a diferença entre a temperatura de bulbo seco (Tbs) e a temperatura de bulbo úmido (Tbu) (depressão psicrométrica); assim, quanto mais a Tbs se aproxima da Tbu, mais a UR se aproxima de 100%, e quanto maior for a diferença entre a Tbs e Tbu, mais a UR se afasta de 100%.

3.6 – Eficiência de resfriamento dos painéis evaporativos

De acordo com a AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE (1993), a eficiência a ser considerada no dimensionamento e manejo do sistema de resfriamento adiabático evaporativo, é estimada pela equação 1 :

$$EF = [(tbs - t'bs) / (tbs - tbu)] \times 100 \quad (4)$$

em que

EF = eficiência de resfriamento do sistema, %;

tbs = temperatura de bulbo seco do ar na entrada do resfriador, °C;

t'bs = temperatura de bulbo seco na saída do resfriador, °C;

tbu = temperatura de bulbo molhado interna, °C.

BAÊTA e SOUZA (1997), recomendam que a eficiência desejável em sistemas de resfriamento evaporativo devem estar em torno de 80%.

3.7 - Avaliação de desempenho das aves

As medições do desempenho médio das aves, utilizadas como um dos parâmetros de avaliação do efeito das variáveis ambientais e do processo de resfriamento evaporativo, atendem os seguintes critérios técnicos, de acordo com ENGLERT (1987):

a) Consumo de ração (CR), obtido através da diferença entre o peso da ração inicialmente fornecida às aves e o que sobrou nos comedouros, no final de cada período considerado, dividido pelo número de aves alojadas.

b) Ganho médio de peso semanal (GP), obtido com base na diferença de peso de uma amostra representativa de aves, no início e final de cada período experimental.

c) Conversão alimentar (CA), calculada relacionando-se a quantidade de ração consumida (kg) no final do intervalo de tempo considerado e o ganho de peso das aves (kg) no mesmo período.

d) Taxa de mortalidade (TM), obtida relacionando-se, o número de aves mortas com o total de aves inicialmente alojadas, em percentagem.

e) Peso vivo médio (PV): é o peso médio das aves, ao final de cada período considerado.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no verão, durante onze dias nos meses de fevereiro e março de 2001, em instalações avícolas da COOPERVALE Ltda, situada na cidade de Palotina - PR, situado a latitude 24°17'02" S, longitude 53°50'24" W, altitude 289m. A região possui clima temperado mesotérmico úmido, com ocorrência de geadas no inverno e elevadas temperaturas no verão.

4.1 - Galpões experimentais e sistema de acondicionamento ambiente

Foram utilizados dois galpões avícolas de um mesmo setor, posicionados lado a lado, a 40 m de distância um do outro. Ambos galpões com idênticas características construtivas, dimensões de 120 m de comprimento, 12,0 m de largura e 2,5 m de pé-direito, sendo que os eixos longitudinais foram orientados no sentido leste-oeste, a cobertura era composta com telhas em aço galvanizado com 0,03 m de poliestireno expandido na parte superior com inclinação de 32,5% e beiral de 0,50 m, os fechamento laterais eram compostos de cortinas de lona Sansui cor verde e concreto nas extremidades. Entre estes galpões foi instalado um abrigo meteorológico para coleta de dados ambientais externos.

O acondicionamento térmico dos dois galpões, constou de um sistema de resfriamento adiabático evaporativo, formado de painéis de material poroso, posicionados em uma das extremidades da edificação, por onde entra o ar succionado pelos exaustores situados na extremidade oposta, estabelecendo um sistema de ventilação com pressão negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC) (Figuras 4 e 5).



Figura 4 – Vista parcial de um dos galpões experimentais, mostrando os exaustores.



Figura 5 – Vista parcial de uma das laterais do galpões experimentais mostrando ao conjunto de painéis em celulose.

Os exaustores, em número de dez, possuíam vazão nominal de ar de $9,67\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com pressão de serviço em torno de 25 Pa, modelo 37169-4821 da Chore-Time, diâmetro de 121,9 cm (48”), acionado por um motor de 746 W, 1725 rpm. A quantidade de exaustores existentes, em cada galpão, foi dimensionada para promover até uma renovação de ar por minuto, visando proporcionar uma sensação térmica favorável às aves em situação de temperaturas elevadas, com velocidade máxima do ar, na instalação, em torno de $2,5 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Os painéis evaporativos do galpão testemunha (com celulose) foram dimensionados de maneira que a perda de carga do ar, ao atravessar os mesmos, estivesse em torno de 15 Pa. Comercialmente estes painéis são vendidos com 15,0 cm de espessura, 60,0 cm de largura e 184,0 cm de altura. Cada galpão possuía 20 painéis de cada lado de uma das extremidades do galpão totalizando $22,08 \text{m}^2$ de placa porosa (Figura 6). Para os painéis de argila expandida utilizados no sistema de ventilação negativa em túnel com argila expandida (SVNTA), a granulometria da mesma, bem



Figura 6– Vista parcial do interior de um dos galpões experimentais, mostrando os painéis de celulose.

como a espessura da placa composta por este material, foi medida em ensaios anteriores realizados em túnel de vento convencional pelos próprios técnicos da COOPERVALE (Cooperativa Agrícola Mista Vale do Piquiri Ltda), os quais fixaram a área de material poroso e calcularam a espessura e granulometria que resultasse na mesma pressão estática observada nas placas de celulose comerciais.

Assim, empregou-se 0,60 m de largura e 1,84 m, totalizando 22,08 m² de placa de um lado e 22,08 m² do outro, em uma das extremidades do galpão, à semelhança do testemunha. Cada painel, confeccionado em tela galvanizada 0,02x0,02 m, foi preenchida com argila expandida, comercialmente conhecida como “cinasita”, fabricada pela CINEXPAN Industria e Comércio Ltda; 70% do volume total de cinasita foi composta pelo tipo 120030 (0,40 a 0,45 m de diâmetro médio das esferas) e 30% do tipo 3222 (22 a 32 mm de diâmetro médio) (Figuras 7 e 8).

O experimento foi conduzido com frangos de corte de mesma linhagem (Ross - macho) e procedência (Granja Resende) dos 21 aos 42 dias de idade, alojadas na densidade de 18 aves.m⁻² (alta densidade). As aves foram distribuídas de forma homogênea, receberam dietas alimentares idênticas e foram manejadas pelos mesmos tratadores de maneira semelhante.

4.2 - Instrumentos e medições

Para as medições de temperatura de bulbo seco, bulbo molhado, temperatura de globo negro e velocidade do vento foram instalados instrumentos específicos para cada variável, posicionados a uma altura de 0,30 m do piso, na linha central do galpão e em três pontos equidistantes posicionados nos três terços relativos ao comprimento do edifício: extremidades esquerda, centro e extremidade direita. As leituras foram realizadas a cada duas horas, no período das 8:00 as 18:00 horas e os instrumentos utilizados foram psicrômetros não aspirados, termômetros de mercúrio, termômetro de globo negro e anemômetro digital Lutron AM-4201, com exatidão de mm/s, calibrado no Setor de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Externamente, entre os dois galpões, manteve-se um abrigo meteorológico equipado com termohigrógrafo e termômetros de mercúrio para a medição da temperatura de bulbo seco, bulbo úmido, temperatura máxima e mínima. Todas as

leituras foram realizadas nos mesmos horários estabelecidos para o interior dos galpões.



Figura 7– Vista frontal do painel de argila expandida.

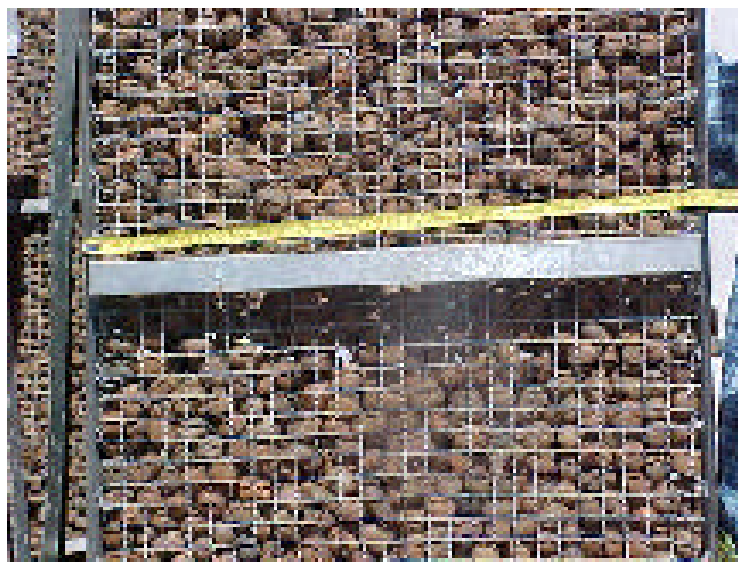


Figura 7– Vista frontal ampliada do painel de argila expandida.

4.3 – Determinação da eficiência de resfriamento dos painéis evaporativos

Para medição da eficiência de resfriamento (EF) dos diferentes materiais porosos utilizados, foram monitoradas, diariamente, à um metro das placas e internamente ao galpão, as temperaturas de bulbo seco e de bulbo molhado. As condições térmicas do ar externo ao galpão foram medidas no abrigo meteorológico. Estes valores foram utilizados na equação 4 (item 3.6) calculando-se os valores de eficiência de resfriamento dos painéis.

4.4 – Índices do ambiente térmico

Com os dados de temperatura de globo negro, bulbo seco e bulbo molhado e velocidade do ar, foram calculados: índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR) e umidade relativa do ar (UR).

Os (índices de temperatura de globo negro e umidade) ITGUs foram calculados em intervalos de duas horas, das 8 às 18 horas em cada galpão, utilizando-se os valores observados de temperatura de globo negro, bulbo seco e bulbo molhado e a pressão atmosférica da localidade, aproximadamente, 979,00 hPa, nas equações 1 (item 3.5.1).

Os valores de Carga Térmica de Radiação (CTR) foram calculados, da mesma forma que os ITGUs, para cada duas horas, das 8 às 18 horas, em cada ambiente considerado, utilizando-se os valores coletados de temperatura de globo negro, temperatura de bulbo seco e velocidade do ar, nas equações 2 e 3 (item 3.5.2).

Os valores de umidade relativa (Urs) foram obtidos para cada duas horas, das 8 às 18 horas, e em cada ambiente considerado, utilizando-se os valores coletados das temperaturas de bulbo seco e bulbo molhado.

4.5 - Delineamento experimental

Para a análise dos dados ambientais (ITGU, CTR e UR) e de eficiência dos materiais, os tratamentos foram dispostos segundo um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (galpão com placas de celulose e galpão com placas de argila expandida) e nas subparcelas os horários (8,10,12 14,

16 e 18 horas) no delineamento em blocos casualizados com vinte repetições (período relativo aos dias de tomada de dados).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Para o fator qualitativo (sistema de resfriamento) as médias foram comparadas utilizando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (horário experimental) os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste de "t" ao nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação R^2 no fenômeno em estudo.

Para a análise das variáveis que constituem os índices zootécnicos, foi considerado como delineamento em blocos casualizados, com dois tratamentos (tipo de material). As médias foram comparadas utilizando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Avaliação do conforto térmico ambiente

Os resultados médios diários de índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR), umidade relativa do ar (UR) e eficiência evaporativa dos painéis (EF), em função dos horários de observações (H) no interior dos galpões submetidos aos tratamentos experimentais sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC) e no ambiente externo, encontram-se relacionados nos Quadros 1A e 2A do Apêndice.

5.2 - Análise do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

O resultado da análise de variância referente aos efeitos dos materiais porosos utilizados no tratamento 1 (SVNTA) e tratamento 2 (SVNTC) e das horas (H) com relação à média horária dos ITGUs tomados internamente aos galpões, estão apresentados no Quadro 1. Verifica-se que houve diferença significativa entre os valores de ITGU em relação aos tratamentos e às horas de observação.

Conforme os resultados da análise de variância apresentados no Quadro 1, verifica-se que houve diferença significativa entre os valores médios de ITGU para os diversos horários de observação e para os distintos materiais porosos, os quais serão estudados a seguir.

Quadro 1 – Resumo da análise de variância referente aos efeitos dos distintos tratamentos (SVNTA e SVNTC) e das horas de observação (H) nos resultados médios de índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

		QUADRADO MÉDIO
F.V.	GL	ITGU
BLOCOS (dias)	10	2,723828**
Tratamento (T)	1	27,6803**
Resíduo (a)	10	0,4632
Hora (H)	5	67,81669**
HxT	5	7,078232**
Resíduo(b)	100	1,07477

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

O Quadro 2 apresenta os valores médios de ITGU para os dois tipos de materiais porosos (celulose e argila expandida) e nos distintos horários de observação (8 às 18 h).

Quadro 2 - Valores médios de ITGU , para os dois tratamentos estudados (SVNTA e SVNTC), em cada horário de observação

Hora	ITGU	
	SVNTA	SVNTC
8:00	75,6 a	76,0 a
10:00	79,0 a	79,3 a
12:00	81,0 a	79,6 b
14:00	81,7 a	79,0 b
16:00	81,0 a	79,2 b
18:00	79,5 a	78,8 b

As médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os valores médios de ITGU nos horários entre 8 e 10 h, embora, em valores absolutos, observa-se que o sistema SVNTC apresentou médias superiores. Nestes horários

ambos sistemas encontravam-se desligados, prevalecendo somente a ventilação promovida pelos exaustores.

Entre 12 a 18 h, período mais quente do dia, conforme observações meteorológicas, os sistemas de ventilação negativa em modo túnel com resfriamento evaporativo estiveram acionados. Neste período observou-se que o arrefecimento foi significativamente mais efetivo no SVNTC, representado por menores valores de ITGU, comparativamente ao SVNTA. Este fato indica que o SVNTC comportou-se melhor na realização do conforto térmico ambiente, o que pode ser atribuído à maior área específica de contato entre o ar e o material poroso em celulose quando comparado à argila expandida. Outro aspecto que pode justificar os resultados, pode ser o mal dimensionamento dos painéis de argila expandida em termos de área e espessura das mesmas, além, da granulometria do material utilizado.

Foram testados os modelos de regressão linear e quadrático, verificando-se que, para esses parâmetros, o modelo quadrático apresentou melhor ajuste aos dados obtidos, gerando as seguintes equações x e y.

Quadro 3 – Equações de regressão, ajustadas para os índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU)

Características	Tratamento	Equação de regressão	R ² (%)
ITGU	SVNTA	$ITGU = 71,073 + 5,1818H^{**} - 0,6316H^{2**}$	99
	SVNTC	$ITGU = 73,916 + 3,0184H^{**} - 0,3822H^{2**}$	83

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

Com os resultados apresentados no Quadro 3, foi possível traçar o gráfico da variação do ITGU em função das horas do dia, o qual pode ser visto na figura 9. Constata-se que os maiores valores de ITGU para os tratamentos (SVNTA e SVNTC) ocorreram por volta das 14:00 horas, decrescendo as 16:00 h. Este comportamento dos valores médios de ITGU foi verificado por PIASENTIN (1984), ROSA (1984), CAMPOS (1986) E TINÔCO (1988). Isto ocorre em virtude de uma temperatura maior nas vizinhanças do globo negro, representada, segundo BOND et al. (1954), por solo, céu, cobertura e horizonte, logo após o meio dia. O aumento da

temperatura nas seções da vizinhança do globo negro faz com que este receba mais calor do ambiente, acarretando elevação da sua temperatura, com conseqüente elevação nos valores de ITGU.

Conforme relatado por TEIXEIRA (1983) e PIASENTIN (1984), instalações avícolas estão em desconforto térmico para valores de ITGU superiores a 77,00 para aves de corte com idade superior a 15 dias. Do exposto, verifica-se que embora os valores de ITGU para o tratamento SVNTC tenham sido inferiores aos obtidos no SVNTA, nenhum deles conseguiu manter as aves adultas em condições de conforto térmico, indicando que ambos os sistemas deixaram a desejar, com exceção do primeiro horário de observação, as 8 h, quando ambos atenderam aos valores recomendados.

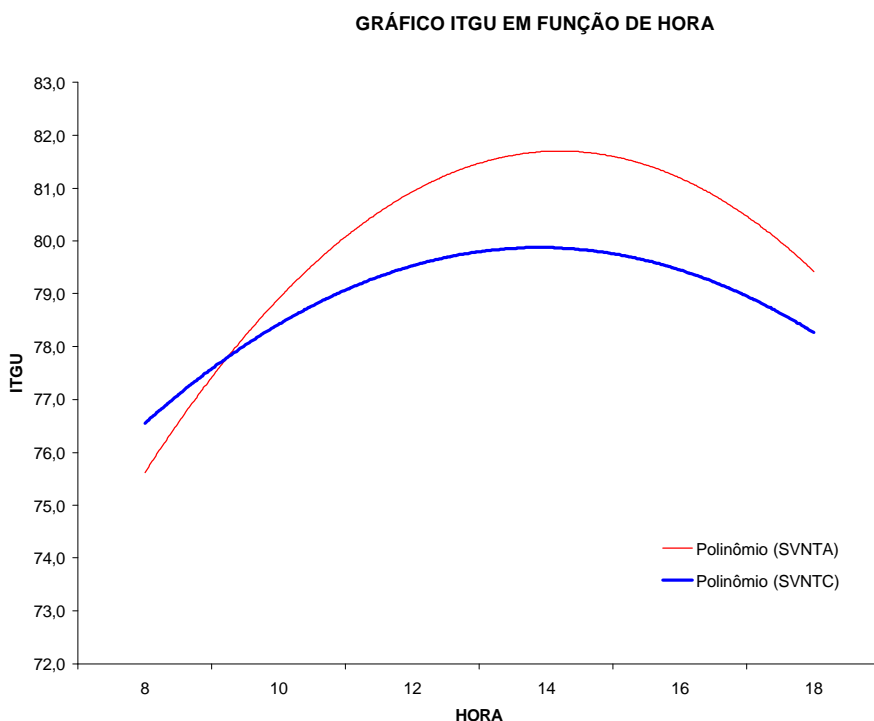


Figura 9 - Média dos índices de temperatura do globo negro e umidade (ITGU), para os tratamentos (SVNTA e SVNTC), nos diferentes horários de observação.

Quanto aos valores de ITGU nos horários de 8:00, 10:00 e 18:00 horas observou-se que não houve diferença significativa com base neste índice entre o comportamento térmico das instalações sem o funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo, confirmando a hipótese apresentada no item material e métodos da semelhança entre os galpões em estudo.

5.3 – Análise da carga térmica de radiação (CTR)

A análise de variância referente aos efeitos dos materiais porosos utilizados nos diferentes tratamentos 1 (SVNTA) e 2 (SVNTC) e nas horas (H) com relação à média horária dos CTRs tomados internamente nos galpões, estão apresentados no Quadro 4. Verifica-se que não houve diferença significativa entre os valores de CTR tomados no interior dos galpões em relação aos tratamentos nas horas observadas.

Quadro 4 – Resumo da análise de variância referente aos efeitos dos distintos tratamentos (SVNTA e SVNTC) e das horas de observação (H) nos resultados médios de carga térmica de radiação (CTR)

QUADRADO MÉDIO		
F.V.	GL	CTR
BLOCOS (dias)	10	164,1118 ns
Tratamento (T)	1	146,4625 ns
Resíduo (a)	10	108,0969
Hora (H)	5	2242,675**
HxT	5	154,7106 ns
Resíduo(b)	100	142,9740

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

ns não significativo

Quadro 5 - Valores médios de CTR , para os dois galpões estudados, em cada horário de observação

Hora	CTR (W/m ²)	
	SVNTA	SVNTC
8:00	469,3 a	472,7 a
10:00	485,9 a	485,3 a
12:00	500,1 a	493,1 a
14:00	500,3 a	490,7 a
16:00	495,5 a	498,8 a
18:00	486,8 a	484,8 a

* As médias seguidas por uma mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Através do Quadro 5, verificou-se que não houve diferenças significativas entre os valores médios encontrados de CTR nos diversos horários de observação, para os diferentes materiais porosos estudados.

O fato dos valores médios de CTR constantes no Quadro 5 não apresentarem diferença para os horários de 8, 10 e 18 h, pode ser explicado pela semelhança arquitetônica e de materiais apresentada entre os dois galpões.

Observa-se que embora os valores de ITGU tenham apresentado diferença entre os sistemas, nos horários de 12 a 16 h, isto não ocorreu para os valores médios de CTR, evidenciando que os fatores que mais afetaram o ambiente das aves foram a umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de bulbo seco.

A temperatura radiante média foi calculada com base na velocidade do ar (equação 3), na temperatura de globo negro e temperatura de bulbo seco e a CTR foi calculada pelo produto da constante de Stefan-Boltzman pela TRM elevada à quarta potência. Pode-se concluir que a TRM também não apresentou diferença significativa entre os diferentes tratamentos estudados.

A constatação de que a TRM não tenha apresentado diferença significativa em seus valores médios entre os tratamentos, está no fato de que a radiação devido ao fechamento (cobertura e cortinas) captada pelo globo foi a mesma, o que levou a concluir que, para que os valores de TRM tenham sido iguais estatisticamente, os valores de velocidade do ar e temperatura de bulbo seco foram compensatórios. Ou seja, o SNVTA apresentou velocidade do ar menor que no SNVTC, em contrapartida, o SNVTA proporcionou maior valor de temperatura de bulbo seco que o SNVTC.

Verificou-se que nos horários entre as 12:00 e 16:00 horas, ambos os tratamentos apresentaram maiores valores médios de carga térmica de radiação, o que se explica pela maior exposição à radiação solar neste período, que incide principalmente na cobertura e cortinas chegando aos pontos de tomada de dados, ou seja, no globo negro sob a forma de radiação térmica (ondas longas).

Foram testados os modelos de regressão linear e quadrático, verificando-se que para esses parâmetros, o modelo quadrático apresentou melhor ajuste aos dados obtidos, gerando as equações 7 e 8.

Quadro 6 – Equação de regressão, ajustada para a carga térmica de radiação (CTR)

Características	Tratamento	Equação de regressão	R ² (%)
CTR(W/m ²)	SNVTA	$Y = 444,37 + 28,578H^{**} - 3,609H^2^{**}$	98
	SNVTC	$Y = 459,26 + 17,133H^{**} - 2,136H^2^{**}$	92

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

A partir das equações 7 e 8, plotou-se o gráfico da variação da carga térmica de radiação para os diferentes tratamentos (materiais porosos), em função das horas do dia, o qual pode ser visto na figura 10.

As ondas longas emitidas pela cobertura e cortinas são originárias da transformação de parte da energia solar radiante que chega nestes elementos no período de exposição da instalação à radiação solar.

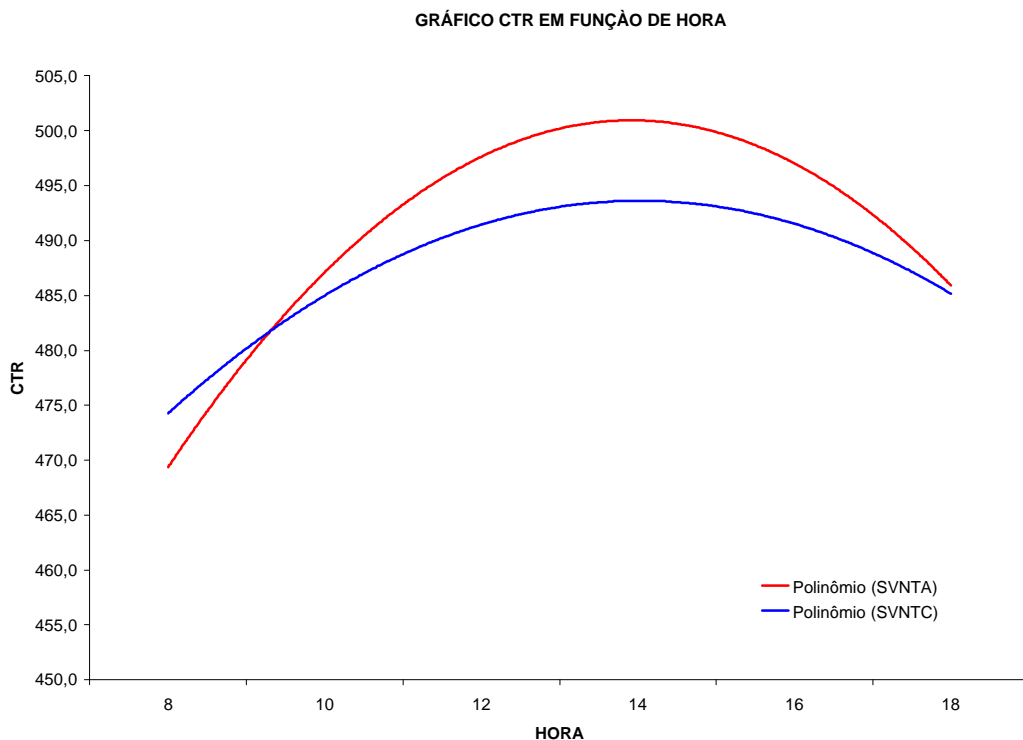


Figura 10 - Variação da carga térmica radiante para os tratamentos 1(SVNTA) e 2(SVNTC) estudados no período de observação.

Observa-se pela figura 10 que os maiores valores de CTR ocorreram por volta das 14 h, evidenciando que a radiação advinda da cobertura e cortinas atingem maior intensidade de emissão de ondas longas para o ambiente das aves.

5.4 - Umidade relativa do ar

O resumo da análise de variância referente aos efeitos dos materiais porosos utilizados nos tratamentos(T) e das horas (H) com relação à média horária da UR tomados internamente nos galpões, estão apresentados no Quadro 7. Verifica-se que houve diferença significativa entre os valores médios de UR nos diferentes sistemas SVNTC e SVNTA.

Pelo Quadro 7, verificou-se que não houve diferença significativa entre os valores médios encontrados de UR nos primeiros horários de observação 8 e 10 h, para os diferentes materiais porosos constituintes dos painéis evaporativos, mostrando que houve semelhança de comportamento, em relação à umidade relativa, já que nestes horários o sistema de resfriamento estava desligado.

Para os intervalos de 12 e 18 h, onde os sistemas estavam funcionando, os valores de UR obtidos no SVNTA foram significativamente inferiores ao SVNTC.

Quadro 7 – Resumo da análise de variância referente aos efeitos dos materiais porosos utilizados nos galpões(G) e das (H) com relação à média da UR em três pontos distintos

QUADRADO MÉDIO		
F.V.	GL	UR
BLOCOS (dias)	10	102,7044*
Tratamento (T)	1	1724,018**
Resíduo (a)	10	44,94425
Hora (H)	5	452,6658**
HxT	5	109,494**
Resíduo(b)	100	142,9740

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

Considerando que o SVNTA e SVNTC representam sistemas de resfriamento adiabático evaporativo e que o arrefecimento térmico do ar máximo é obtido com conseqüente incremento da umidade relativa do ar, infere-se que o SVNTA operou

com eficiência inferior à obtida no SVNTC. Segundo vários autores é possível obter situações desejáveis para aves até o limite de 80% de umidade relativa do ar (TEIXEIRA,1983; PIASENTIN, 1984; TINÔCO, 1996).

No caso do experimento em questão, verifica-se pelo Quadro 8, que em nenhum dos horários, ambos os tratamentos estudados atingiram este patamar no período de funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo, indicando subutilização dos mesmos em termos de eficiência evaporativa, ou seja, para resfriar o ar retira-se calor deste aumentando sua saturação em termos de vapor d'água aumentando assim a UR e sua saturação dependerá da troca térmica feita nos painéis.

A eficiência evaporativa dos painéis constantes em cada sistema tem relação direta com a umidade relativa no interior da instalação. Assim pode-se observar que os painéis de argila expandida do SVNTA foram menos efetivos na troca térmica quando da passagem do ar pelos mesmos, quando comparados com os painéis do SVNTC conforme resultados de UR apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Valores médios de UR , para os dois galpões estudados, em cada horário de observação

Hora	UR (%)	
	SVNTA	SVNTC
8:00	82,1 a	83,2 a
10:00	67,5 a	71,0 a
12:00	68,3 a	79,5 b
14:00	67,7 a	78,6 b
16:00	68,3 a	79,6 b
18:00	74,6 a	80,1 b

* As médias seguidas por uma mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Foram testados os modelos de regressão linear, quadrático, cúbico e quártico, verificando-se que para esses parâmetros o modelo quártico apresentou melhor ajuste aos dados obtidos, gerando as equações 11 e 12.

Quadro 9 – Equação de regressão, ajustada para a umidade relativa do ar (UR)

Características	Trat.	Equação de regressão	R ² (%)
	SVNTA	$UR=148,94 - 108,46H^{NS+} - 52,435H^{2**} - 10,059H^{3**} + 0,67H^{4**}$	89
UR(%)	SVNTC	$UR=1323,63 - 80,847H^+ + 35,39H^{2*} - 6,590H^{3**} + 0,444H^{4**}$	99

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

ns não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

A partir dos dados do Quadro 9, traçou-se o gráfico da variação da umidade relativa para os diferentes tratamentos (SVNTA e SVNTC), em função das horas (H) do dia, o qual pode ser visto na figura 11.

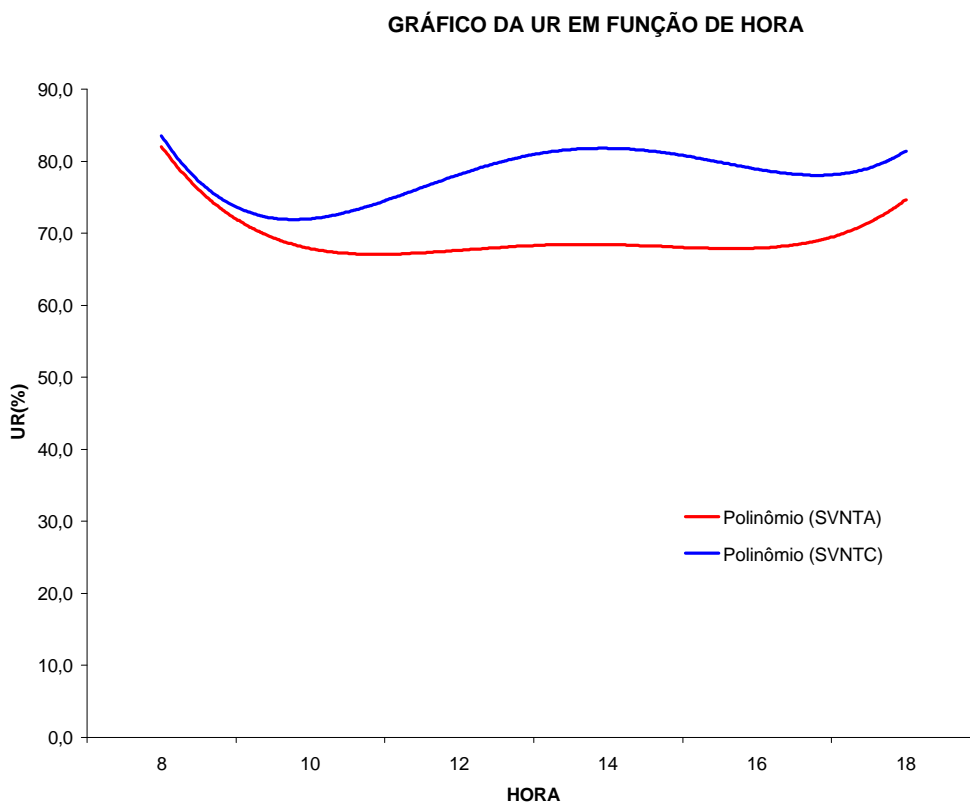


Figura 11 - Variação estimada da umidade relativa (UR) para os tratamentos estudados (SVNTA e SVNTC) nos diferentes horários de observação.

Verifica-se que os valores de UR, para ambos os sistemas estudados, foram maiores no primeiro horário de observação (8 h) decrescendo até às 10 h a partir deste horário o sistema túnel foi acionado promovendo uma troca repentina de todo

ar do interior da instalação, fazendo com que a UR tenha valores próximos aos da UR externa ao galpão.

Com o acionamento do sistema de resfriamento evaporativo por volta das 11 h os painéis passaram a introduzir vapor d'água no ar ambiente, fazendo com que a UR aumentasse e atingisse valores próximos ao desligamento do mesmo por volta das 17 h, quando a partir daí os valores médios de UR voltam a crescer novamente.

5.5 – Análise da eficiência evaporativa dos painéis

O resumo da análise de variância referente a eficiência dos materiais porosos utilizados na confecção dos painéis evaporativos dos sistemas de ventilação negativa em modo túnel encontra-se no Quadro 10, por meio do qual, verifica-se que houve diferença significativa entre os valores de eficiência das mesmas com relação aos distintos tratamentos (SVNTA e SVNTC).

Quadro 10 – Resumo da análise de variância referente a eficiência média obtida com base no uso de diferentes materiais porosos utilizados nos tratamentos (SVNTA e SVNTC)

QUADRADOS MÉDIOS		
FV	GL	EFICIÊNCIA
BLOCOS	87	174,90
Tratamento (T)	1	5135,46**
Resíduo	87	102,495
Total	175	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F

Através do Quadro 11, verifica-se que houve diferença significativa entre os valores médios encontrados de eficiência evaporativa (EF) nos diversos horários de observação, para os materiais porosos estudados nos sistemas (SVNTA e SVNTC).

Quadro 11-Valores médios de eficiência (EF) , para os dois galpões estudados, em cada horário de observação

EFICIÊNCIA EVAPORATIVA (%)		
	SVNTA	SVNTC
MÉDIAS	53,1 a	68,4 b

* As médias seguidas por uma mesma letra, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste F

Com base neste Quadro 11, observa-se que o SVNTA apresenta os menores valores médios de eficiência, indicando ser menos efetivo em termos de arrefecimento térmico.

Segundo tabela de redução de temperatura por meio do sistema de resfriamento (CATÁLOGO TÉCNICO DA BASENGE) elaborada a partir do gráfico psicrométrico (Quadro 5A do Apêndice), a eficiência de um sistema de resfriamento adiabático evaporativo, quando bem dimensionado está em torno de 75% para temperaturas em torno de 22 a 39°C.

Do exposto, infere-se que ambos sistemas não foram totalmente explorados.

No caso do SVNTC verificou-se que ocorreu deficiência no molhamento dos painéis, ocasionado pelo entupimento de orifícios do tubo superior do sistema de molhamento provocado por algas que passaram no filtro e se acumularam dentro do tubo.

Para os painéis que compunham o SVNTA, além de apresentar entupimentos periódicos de alguns orifícios, observou-se que os painéis não apresentavam homogeneidade na distribuição na granulometria da argila expandida, granulometria esta definida em ensaios realizados em túnel de vento pelos técnicos da COOPERVALE.

Observou-se também que a velocidade do ar no sistema SVNTA apresentou menores valores comparativamente ao SVNTC (ANEXO 3A e 4A).

Logo observa-se que os painéis compostos de argila expandida ofereceram maior resistência a passagem do ar que aqueles compostos por celulose, já que ambos possuíam a mesma área de material poroso. Este fato pode ser explicado pelos menores valores de velocidade do ar e conseqüentemente menor vazão e renovação de ar dentro da instalação no sistema SVNTA.

Cabe ainda destacar que comparativamente à celulose, os painéis de argila expandida apresentaram orifícios relativamente menores dificultando a passagem do ar, incrementando a sua velocidade e aumentando a perda de carga em níveis superiores aos obtidos nos painéis de celulose no SVNTC; conseqüentemente, a troca térmica entre o ar e a água foi e menos efetiva no SVNTA.

5.6 - Avaliação dos índices de desempenho produtivo das aves

5.6.1 – Consumo de ração (CR)

Os dados médios de consumo de ração por ave alojada, em kg e, sob efeito dos sistemas de acondicionamento de ambiente – sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC), obtidos no período de 11 dias a contar do 32º dia ao 42º dia de idade das aves, estão apresentados no Quadro 12.

Na Figura 12, são relacionados os valores médios de consumo de ração nas duas últimas semanas de vida das aves.

O Quadro 12 mostra que no SVNTC obteve-se uma diferença de 97 gramas para mais em relação ao SVNTA, confirmando os dados dos índices ambientais, ou seja, o sistema SVNTC propiciou um ambiente mais confortável termicamente, levando as aves a um maior consumo de ração já que os mecanismos de dissipação de calor foram menos solicitados que no SVNTA.

Pela Figura 12, observa-se que os valores médios de CR obtidos em cada um dos diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente estudados e durante todo o período experimental, apresentaram comportamento similar, com valores crescentes, a medida em que as aves se desenvolveram, conforme esperado.

Quadro 12 – Valores médios do consumo de ração (CR), em kg, obtidos para as aves, no período de 11 dias a contar do 32º ao 42º dia por ocasião do abate, submetidas ao sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC)

Consumo de Ração (Kg/ave)	
32 a 42 dias de idade das aves	
SVNTA	1,342
SVNTC	1,439

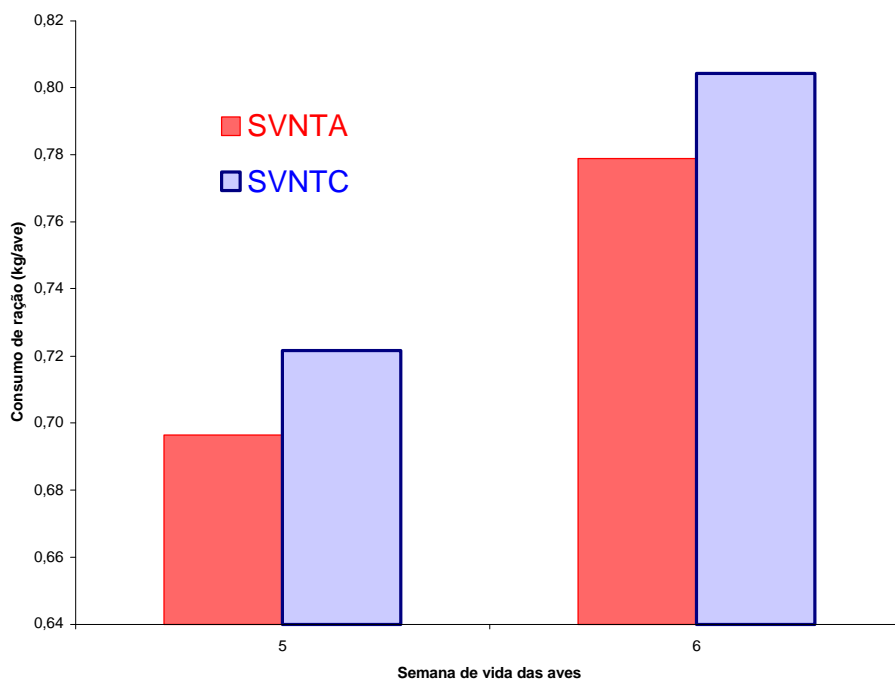


Figura 12 – Valores médios de consumo de ração, correspondente ao período de 11 dias a contar do 32º ao 42º dia por ocasião do abate das aves.

5.6.2 – Ganho de peso (GP)

Os dados médios de ganho de peso (GP), em kg, sob efeito dos sistemas de acondicionamento de ambiente - sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa

em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC) no período de 11 dias a contar do 32º ao 42º dia de idade das aves (por ocasião do abate), estão apresentados no Quadro 13.

Com base nos dados médios de GP, na segunda semana de vida das aves até o abate, foi elaborada a Figura 13, para avaliação desses comportamentos ao longo deste período.

Quadro 13 – Médias de ganho de peso (GP), em kg, obtidos para as aves, por um período de 11 dias a contar do 32º ao 42º dia por ocasião do abate, submetidas ao sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC)

Ganho de peso (Kg/ave)	
32 a 42 dias de idade das aves	
SVNTA	0,572
SVNTC	0,668

Observa-se, pelo Quadro 13 e Figura 13, que os valores médios de GP nas duas últimas semanas foram maiores no SVNTC. As aves submetidas a este sistema apresentaram ganho de peso de 96 g/ave, superior àquelas submetidas ao SVNTA, o que pode ser explicado pelo fato de que as aves neste sistema estiveram expostas a um ambiente de maior desconforto, representado por maiores valores de ITGU. Assim, em seu mecanismo de manutenção da homeotermia, as aves submetidas ao SVNTA gastaram mais energia do que as submetidas ao SVNTC em mecanismos de termoregulação, prejudicando assim sua fisiologia no ganho de peso corporal.

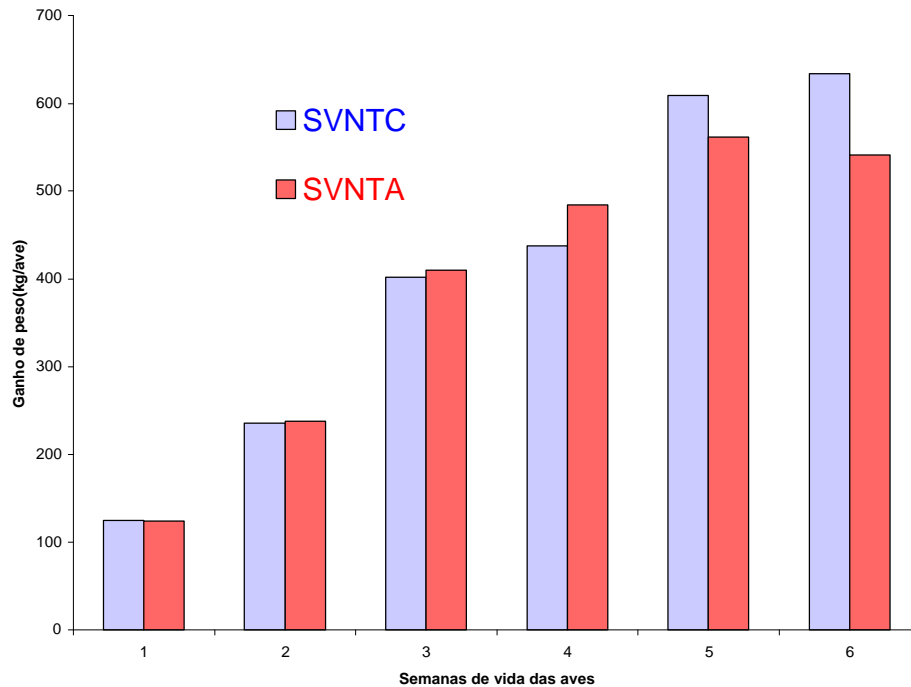


Figura 13 – Valores médios de ganho de peso, correspondente ao período de alojamento das aves a partir da primeira semana de vida das mesmas para o sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC).

5.6.3 – Peso vivo (PV)

Os dados médios de peso vivo (PV), em kg, sob o efeito dos sistemas de acondicionamento de ambiente – sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC), por um período de 11 dias, a contar do 32º dia ao 42º dia por ocasião do abate, estão apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Valores médios de peso vivo (PV), em kg, obtidos para as aves, no período de 11 dias a contar do 32º a ao 42º dia de vida por ocasião do abate, submetidas ao sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e ao sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em celulose (SVNTC)

Peso Vivo (Kg/ave)	
Período de 32 a 42 dias de idade das aves	
SVNTA	2,432
SVNTC	2,520

Com base nos valores médios de PV das seis semanas de alojamento das aves, foi elaborada a Figura 14, para avaliação desses comportamentos ao longo deste período.

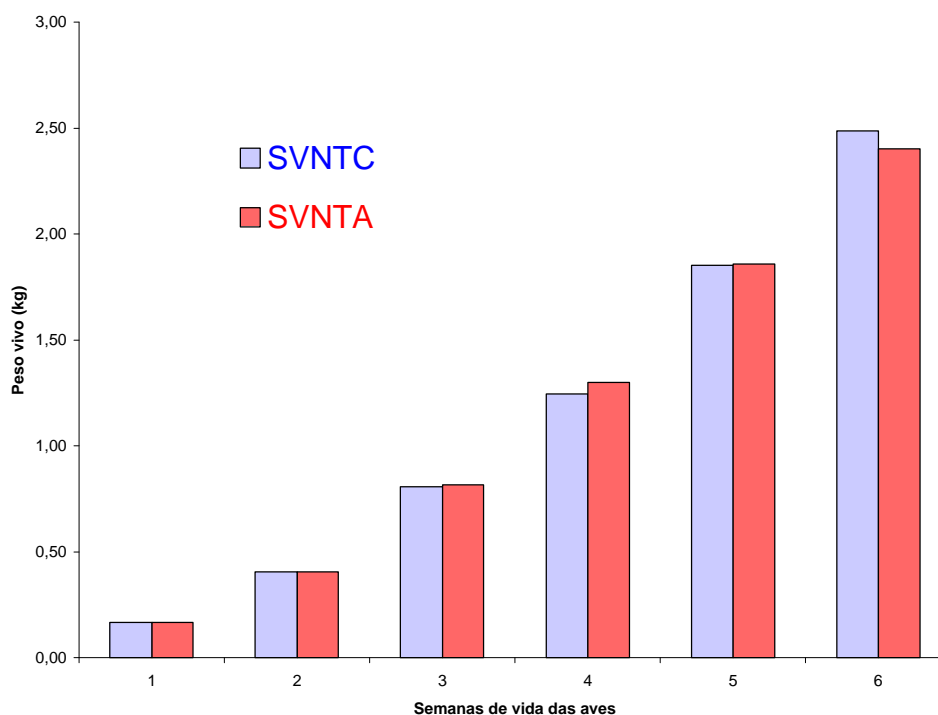


Figura 14 – Valores médios de peso vivo, correspondente ao período de alojamento das aves a partir da primeira semana de vida das aves para o sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila

expandida (SVNTA) e sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC).

Pela Figura 14, pode-se visualizar o comportamento do PV, em que os valores apresentaram comportamentos semelhantes até a quinta semana. No entanto, o peso vivo final no período de funcionamento dos sistemas SVNTC e SVNTA foi de 88 g/ave, superior para o sistema SVNTC em relação ao SVNTA.

A presença do sistema de resfriamento nos últimos dias de vida das aves é de fundamental importância visto que, a medida em que as aves se desenvolvem, estas são mais influenciadas adversamente pelas condições de temperatura e umidade relativa elevadas (ambiente termicamente desconfortável).

5.6.4 – Conversão alimentar (CA)

Os dados médios de conversão alimentar (CA), em kg de ração consumida por kg ganho de peso, sob o efeito dos diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente – sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em celulose (SVNTC) obtidos para as aves, por um período de 11 dias, a contar do 32º dia ao 42º dia de vida das aves, por ocasião do abate, estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Valores médios de conversão alimentar (CA), obtidos para as aves, no período de 11 dias a contar do 32º dia ao 42º dia por ocasião do abate, submetidas ao sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em celulose (SVNTC)

Conversão Alimentar(kg ração/kg ave)	
Período de 32 a 42 dias de idade das aves	
SVNTA	2,01
SVNTC	1,88

Com base nos valores médios de CA das duas últimas semanas de vida das aves, foi elaborada a Figura 15, para avaliação desse comportamento ao longo deste período.

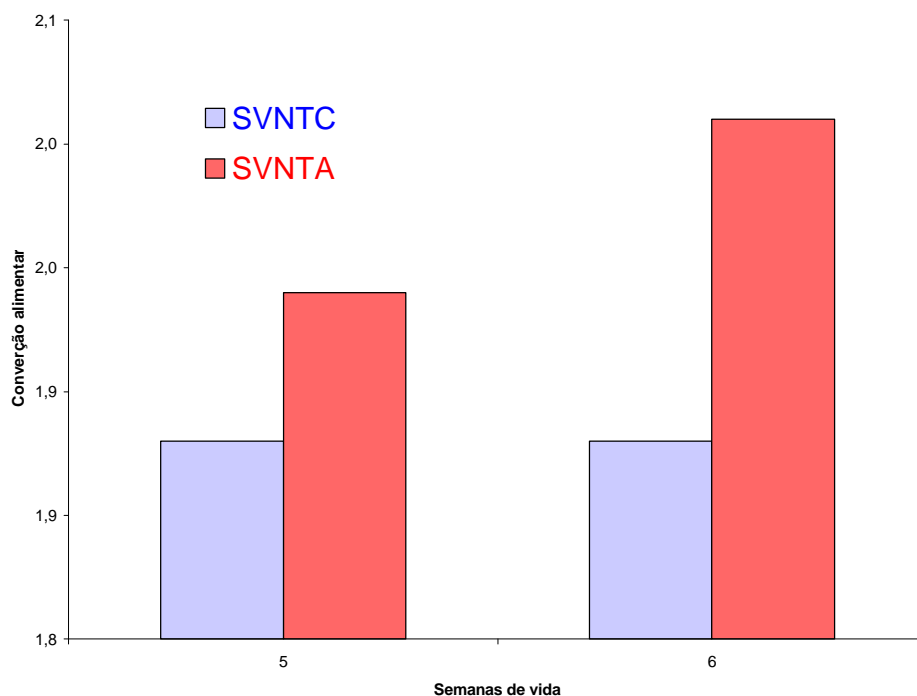


Figura 15 – Valores de conversão alimentar, correspondente ao período de alojamento das aves

Pela Figura 15, observa-se a diferença de 0,13 kg de ração, consumidos por kg de ganho de peso no SVNTA superior ao SVNTC, confirmando o já havia sido analisado nos itens GP e PV . E as justificativas destes resultados são as mesmas apresentadas anteriormente nos itens de GP e PV.

5.6.5 – Taxa de mortalidade (TM)

Os dados médios de taxa de mortalidade (TM), sob o efeito dos sistemas de acondicionamento de ambiente – sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e ao sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em celulose (SVNTC) obtidos para as aves, durante 11 dias, a contar do 32º dia ao 42º dia de idade das aves, (por ocasião do abate), estão apresentados no Quadro 16.

Com os valores médios de taxa de mortalidade TM das seis semanas de alojamento das aves , foi elaborada a Figura 16, para avaliação desses comportamentos ao longo deste período.

Quadro 16 – Valores médios de taxa de mortalidade (TM), em aves mortas na semana sobre total de aves alojadas, (%), obtidos para as aves, por um período de 11 dias a contar do 32º dia ao 42º dia de idade das aves por ocasião do abate, submetidas ao sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA) e ao sistema túnel de ventilação com painel evaporativo em celulose (SVNTC)

Mortalidade no período de 32 a 42 dias de idade das aves (%)	
SVNTA	1,10
SVNTC	0,44

O fato da mortalidade no período de funcionamento dos sistemas (SVNTA e SVNTC) apresentarem valores bem distintos pode ser explicado pela fisiologia das aves. De acordo com MATIAS e PATARRA (1995), a rapidez no ganho de peso causam problemas cardíacos e pulmonares, levando-as a óbito quando expostas a ambiente termicamente estressante por período prolongado. E no processo de dissipação de calor por via latente e a hiperventilação pulmonar das aves através da ofegação, levam-nas a perdas significativas de CO₂. Segundo WANG et al. (1989), o ofego ocasiona o aumento da perda de dióxido de carbono pelos pulmões, reduzindo a pressão parcial de dióxido de carbono e bicarbonato do plasma sanguíneo. Em consequência, a reduzida concentração de íons de hidrogênio no plasma ocasiona um aumento do pH sanguíneo, o que é comumente denominado de alcalose respiratória. Pesquisas mostram que alcalose sanguínea em frangos quando expostos ao estresse térmico prolongado pode levá-los ao óbito.

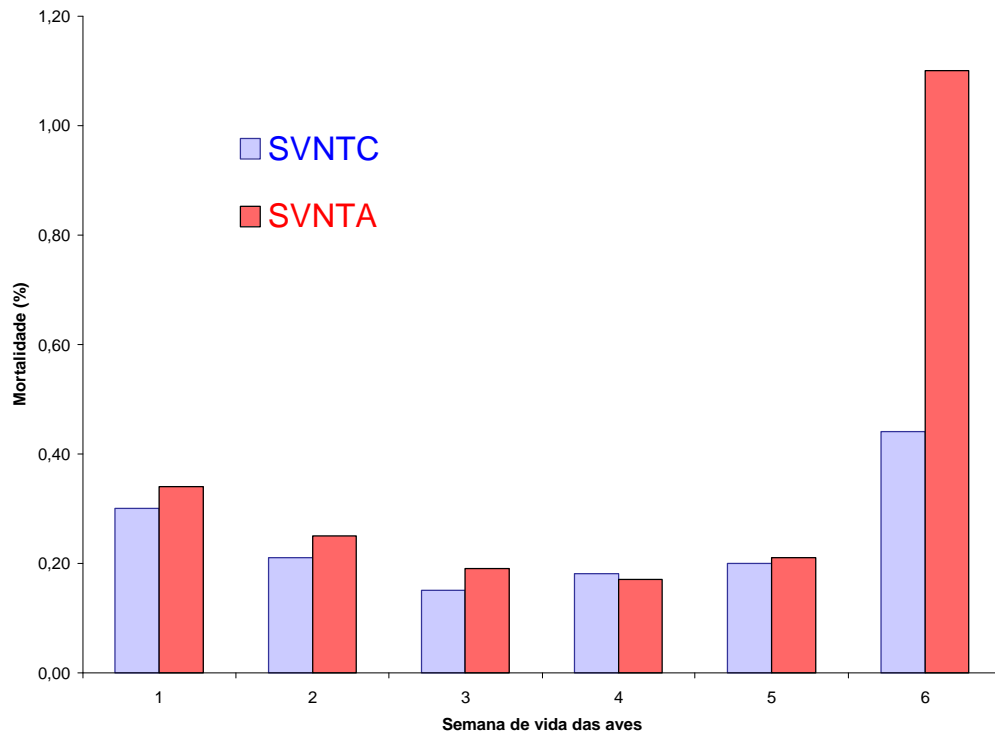


Figura 16 – Valores de mortalidade, para cada semana de vida das aves.

6.0 - RESUMO E CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a possibilidade de substituição dos painéis de celulose, utilizados no sistema de resfriamento evaporativo em galpões avícolas ventilados com pressão negativa em modo túnel (SVNTC), por painéis com argila expandida (SVNTA) (confeccionados conforme recomendação prática obtida por técnicos da COOPERVALE), que é produto alternativo facilmente obtido no Brasil.

O experimento foi realizado no verão, durante os meses de fevereiro e março de 2001, em instalações avícolas da COOPERVALE Ltda, situada na cidade de Palotina, Paraná.

Os índices: índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica de radiação (CTR) e umidade relativa (UR), foram utilizados para avaliar o conforto térmico ambiente e para avaliação da eficiência evaporativa dos painéis. Utilizou-se a equação da eficiência conforme a ASHRAE (1993), enquanto que os índices zootécnicos: consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), peso vivo (PV) e mortalidade (TM) foram utilizados para avaliar o desempenho produtivo dos frangos de corte, da linhagem Ross- Macho procedentes da Granja Resende, Uberlândia, MG.

O SVNTC foi constituído de um sistema de resfriamento adiabático evaporativo, constituído de painéis de material poroso, posicionados em uma das extremidades da edificação, por onde entrava o ar succionado pelos exaustores situados na extremidade oposta, estabelecendo um sistema de ventilação com pressão negativa em modo túnel. Os exaustores, em número de dez, possuíam vazão nominal de $580 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, com pressão de serviço em torno de $2,5 \text{ mmH}_2\text{O}$, modelo 37169-4821 da Chore-Time, diâmetro de 121,9 cm (48”), acionado por um

motor de 746 W, 1725 rpm. A quantidade de exaustores existentes, em cada galpão, foi dimensionada para promover até uma renovação de ar por minuto, visando proporcionar uma sensação térmica favorável às aves em situação de temperaturas elevadas, com velocidade máxima do ar, na instalação, em torno de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$. Os painéis evaporativos foram dimensionados de maneira que a perda de carga do ar, ao atravessa-los, estivesse em torno de $(1,5 \text{ mmH}_2\text{O})\times\text{Pa}$. Comercialmente estes painéis são vendidos com 15,0 cm de espessura, 60,0 cm de largura e 184,0 cm de altura. Cada galpão possuía 20 painéis de cada lado de uma das extremidades totalizando 22,08 m² de placa porosa.

O SVNTA teve a mesma concepção arquitetônica e equipamentos, diferindo apenas nos painéis evaporativos. Os painéis de argila expandida possuíam, 5,0 cm de espessura, 60,0 cm de largura e 184,0 cm, totalizando 22,08 m² de placa de um lado e 22,08 m² do outro, em uma das extremidades do galpão, à semelhança do testemunha. Cada painel, foi confeccionado em tela galvanizada 2,0x2,0 cm, foi preenchida com argila expandida "cinasita"; 70% do volume total de cinasita foi composta pelo tipo 120030 (40 a 45 mm de diâmetro médio das esferas) e 30% do tipo 3222 (22 a 32 mm de diâmetro médio).

Nos onze dias finais de vida das aves, quando o sistema de resfriamento dos galpões foi acionado, foram registrados, a cada duas horas, no período das 8 às 18 horas, as temperaturas de globo negro, bulbo seco e bulbo molhado e velocidade do ar no interior do galpão e no ambiente externo, foram registrados a umidade relativa e temperatura de bulbo seco. Posteriormente, com estes resultados, foram obtidos os valores de ITGU, CTR e UR para cada horário e a EF nos horários de 12 as 18 horas. Para avaliação do desempenho animal, foram registrados semanalmente os valores de ganho de peso (GP), peso vivo (PV), e mortalidade (TM) e por um período de onze dias finais de vida das aves registrados o consumo de ração (CR) e conversão alimentar (CA).

Nas condições de realização do experimento e pelos resultado obtidos, pôde-se concluir que:

- 1) por meio dos valores de CTR e ITGU nos horários de 8 às 10 horas, os galpões estudados apresentaram comportamento térmico semelhantes.
- 2) os painéis de celulose apresentaram vantagens em termos de ITGU, UR e EF comparadas com o material alternativo argila expandida no período de funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo.

3) problemas no dimensionamento e confecção das placas de argila expandida, como adensamento e porosidade heterogênea, o que possivelmente causaram problemas na pressão estática e eficiência do sistema.

4) as aves submetidas ao SVNTC e SVNTA apresentaram valores próximos nos índices zootécnicos com exceção da mortalidade, realçando a importância do controle térmico do ambiente via resfriamento adiabático evaporativo.

5) painéis de argila expandida embora tenham apresentado valores menores de eficiência evaporativa, têm potencial como material alternativo em painéis para resfriamento adiabático evaporativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, Evaporative air cooling. In: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITINING ENGINEERS. HVAC Systems and Equipament Handbook. Atlanta, cap. 19, 1993.

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

BAIÃO, N.C. Sistemas de produção e seus efeitos sobre o desmpenho das aves. In: SIMPÓSIO INTEWRNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÃO NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, Campinas. Livro de textos. Campinas: FACTA, 1995. p.67-75.

BOND, T.E., KELLY, C.F.; ITTNER, N.R. Radiation studies of painted shade materials. Transactions of American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan, v.36, n.7, 251-255, 1955.

BUFFINGTON, D.E.; AROCHO, A.C.; 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, 24(3):711-714. 1981.

CAMPOS, Egladson João. Avicultura: Razões, fatos e divergências / Egladson João Campos. – Belo Horizonte: FEP- MVZ, Cap 1. 2000.

CANTON, G.H.; BUFFINGTON, D.E.; MATHEP, F.B. Evaporative cooling effects on mature. Male broiler breeders. Transactions of ASAE, St. Joseph, Michigan, v.26, n.6, p. 1974-1977, 1983.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. www.conab.org.br,2001.

- COSTA, E. C. Arquitetura ecológica, condicionamento térmico natural. 5: ed. São Paulo: Edgard Blúcher, 1982. 264p.
- CURTIS,S.E. Environmental management in animal agriculture, 2:ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1983. 407p.
- CZARICK, M.; TYSON,B. The design and operation of tunnel-ventilated poultry houses. Georgia: Cooperative Extension Service, the University of Georgia, May, 1990. 12p.
- DONALD, J. Considerações básicas sobre ventilação em galpões de integração de aves. 1996. 22p (Circular ANR, 956).
- ENGLERT, S.I. Avicultura: tudo sobre raças, manejo, alimentação e sanidade. Porto Alegre, Agropecuária, 1987, 288p.
- ESMAY, M.L. Principles of animal environment. Westport CT: Avi Publishing Co., 1982. 325p.
- ESMAY, R.L, DIXON, LE. Environmental control for agricultural buildings. West port: AVI, 1986. 287p.
- FERREIRA, J.H. Posicionamento de ventiladores em galpões para frango de corte. Viçosa: UFV, 1996, 68p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola - Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- FONSECA, J. H. Posicionamento de ventiladores em galpões para frangos de corte criados em sistema de nebulização e ventilação em túnel. Viçosa, MG: UFV, 1998. 57 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FREEMAN, B. M. The fowl and its phsical enviroment. Word Poultry Science Journal, Ames Iowa, v.25, p. 99-111, 1988.
- GOLDFUS, F. Viabilidade da criação de frangos de corte sob alta densidade populacional. Jaboticabal. 1994. 126p. Tese (Mestrado). FCAV, UNESP.
- GRAÇAS, A.S.; SOARES, P.R.; ALMEIDA ESILVA, M.; FONSECA, J. B. Densidade populacional na recria e no período de postura e o desempenho de aves leves. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.7, n.79, p.36-39, jul. 1981.
- ISA BABCOCK BREEDERS. Management guide ISA BABCOCK white eggs layers. Ithaca: 1982. 256p.
- KAMPEN, M.V. Physiological responses of poltry to ambiente temperature. Archiv fur Experimentelle Veterinar Medizin. 1984. 38: 384-391.

LEE, J.F.; SEARS, .F.W. Termodinâmica, 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora McGrae Hill, 1976. 302p.

MACARI, M., FURLAN, R.L. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. FUNEP/UNESP, Jaboticabal, São Paulo, 1994, 296p.

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

MARQUES, D. Calor – Conhecimentos e cuidados para minimizar seus efeitos sobre os frangos. Informativo CASP , 11p. 1992.

MATIAS, I., PATARRA, P. Genética: a invasão dos pintos avós e sua fórmula secreta. Revista avicultura industrial, São Paulo, n. 9 p. 34- 60, 1995.

MATOS, M. L.. Conforto térmico ambiente e desempenho de frangos de corte, alojados em dois níveis de densidade, em galpões com sistema de ventilação em túnel e lateral. Viçosa, MG: UFV, 2001. 89 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) Universidade Federal de Viçosa, 2001.

MEDEIROS, C.M. Desenvolvimento e aplicação de um modelo para simulação e desempenho de galinhas poedeiras e frango de corte com o uso de resfriamento evaporativo. Viçosa: UFV, 1997, 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MILLIGAN, J.L., WINN, P. N. The influence of temperature and humidty on and body weight on growth rate and feed:gain of male broilers. Poultry Science, v. 43,1964, p817-824.

MIRADA futurista al mercado avícola: sector avícola será uno de los más afectados pela globalização por su dinamismo y gran nível de tecnificación. In: Avicultura Profesional. La revista del avicultor. Vol. 19 n 8/9 2001p. 18-20.

MOURA, D.J. Avaliação de eficiência térmica de instalações sombreadas e ventiladas artificialmente, em diferentes orientações. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 1998, 163p.

NÃÃS, I. A Ventilação e climatização para frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO 1997 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS AVÍCOLAS, Anais, São Paulo, 1997 ,p. 108-1119

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, M.G. Viçosa: UFV, 1984. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.

REECE, F.N., LOTT, B.D. Heat and moisture production of broiler chickens. *Livestock environment II*. Ames Iowa State University, 1982, p. 330-337.

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

STROM, J.S., FUENSTRA, A. Heat loss from cattle, minimum and poultry. St. Joseph: American Society of Avicultural Engineers, 1980. p.75. (Paper, 80.4021).

TEIXEIRA, V. H. Estudo dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para região de Viçosa e Visconde do Rio Branco, M.G. Viçosa: UFV, 1983. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1983.

TENDÊNCIAS do consumo: este ano mais frangos e ovos no dia-a dia: AVES e OVOS. São Paulo, n. 2, p 8-48, 1997.

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

TINÔCO, I. de F.F. *Efeito de diferentes sistemas de condicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono*. 1996. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal – Nutrição, Bioclimatologia e Ambiente Animal Escola de Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TINÔCO, I.F.F.; RESENDE, P.L. *Produção de frango de corte em alta densidade*. Manual CPT- Centro de Produções Técnicas. 20 pag., 1997.

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SANTOS, R. C.; SILVA, J. N.; PAULA, M. O.; PUGLIESI, N. L.; VIGODERIS, R. B.; CORDEIRO, M. B. *Comparison of the cooling effect of different materials used in evaporative pads* In. *AGRIBUILDING*, 2001, Campinas-SP *AGRIBUILDING* 2001, , 2001, v. 1, n. , p. 1-4

WANG, S.; BOTTJE, W.G.; KINZLER, S.; NELDON, H.L.; KOIKE, T.I. Effect of heat stress on plasma levels of arginine vasotcin and mesotcin in domestic fowl (*Gallus domesticus*) *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1989. 93A (4): 721-724.

WIERSMA, F.; STOTT, G. H. *Evaporative cooling*. In: HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. (Ed.) *Ventilation of Agricultural Structures*, 2. Edgard Blücher. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1983. 370p., p. 103-108.

WILSON, J.L.; HUGHES, H.A .; WEAVER Jr.; W.D. Evaporative cooling with fogging nozzles in broiler houses. *Transacions of ASAE*, Michigan, v.45, n.4, p.577-561,1983.

ZANOLLA, N. Sistema de Ventilação em Túnel e Sistema de Ventilação Lateral na criação de Frangos de Corte em Alta Densidade. Viçosa: UFV, 1998. 81p. Dissertação(Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiência) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

ZULOVICH, J.M., DESHAZER, J.A. Estimativy egg production declines at high environmental temperatures and humidities. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1990. P.34. (Paper, 90.4021).

APÊNDICE

Quadro 1A – Valores médios horários para cada dia de observação da temperatura de globo negro interna TGN(int), temperatura de bulbo seco interna TBS (int), temperatura de bulbo molhado interna TBU (int), temperatura de bulbo seco externa (ext), índice de temperatura de globo negro e umidade interno ITGU (int), carga térmica de radiação interna CTR(int), umidade relativa interna UR(int) e umidade relativa (ext), para o sistema de ventilação negativa em modo túnel com painel evaporativo em argila expandida (SVNTA).

SVNTA

Dia	Hora	Tgn(int)	Tbs(int)	Tbu(int)	Tbs(ext)	ITGU(int)	CTR(int)	UR(int)	UR(ext)
21/Fev	8	25,8	24,5	22,8	22,5	75,6	478,2	86,5	93,0
	10	29,1	28,0	24,5	27,5	79,4	496,3	77,1	70,0
	12	31,7	31,1	25,3	31,0	81,8	501,5	63,1	57,0
	14	31,4	30,5	24,9	32,2	81,1	496,6	64,7	51,0
	16	31,1	30,3	25,2	32,5	81,2	497,8	66,2	50,5
	18	29,8	28,9	25,5	29,5	80,1	489,2	76,6	68,0
22/Fev	8	26,2	25,4	22,8	26,0	75,9	468,0	80,4	78,0
	10	30,7	30,1	25,3	29,0	80,8	490,2	69,3	65,0
	12	31,7	31,0	26,4	32,0	82,2	497,9	70,1	56,0
	14	32,3	31,5	26,6	33,5	82,9	501,3	69,4	51,5
	16	28,5	27,4	24,7	27,0	78,7	483,8	80,5	76,0
	18	26,6	25,9	24,1	25,0	76,8	467,6	88,1	92,0
23/Fev	8	26,4	24,9	23,6	23,5	76,1	470,7	90,3	96,0
	10	28,3	27,4	24,2	26,8	78,2	481,5	75,6	72,5
	12	29,8	29,1	24,3	28,5	79,5	484,3	68,5	67,0
	14	30,9	30,3	26,4	31,5	81,4	489,9	70,6	62,0
	16	31,7	30,9	26,2	33,0	82,2	499,4	70,6	54,0
	18	30,3	27,7	22,8	22,5	80,1	489,2	76,6	94,5
24/Fev	8	26,1	25,0	23,1	24,0	75,7	471,5	85,8	88,0
	10	28,6	27,9	24,1	29,0	78,4	480,8	73,1	71,5
	12	31,4	30,1	27,1	31,8	82,0	511,3	76,2	58,0
	14	31,4	30,4	26,6	31,5	82,0	497,0	75,0	61,5
	16	31,7	30,8	26,5	32,5	82,3	500,8	72,8	48,0
	18	30,3	29,5	26,3	29,0	81,0	489,9	77,7	75,0
25/Fev	8	26,6	25,6	23,8	27,5	76,5	470,9	86,1	85,0
	10	29,3	28,8	24,8	30,0	79,3	483,5	73,0	65,0
	12	31,7	30,6	26,1	31,8	82,2	507,6	73,0	57,0
	14	31,4	30,4	26,6	33,0	81,7	500,4	67,9	47,0
	16	30,1	29,1	24,8	30,5	80,0	489,6	71,5	59,0
	18	26,0	25,1	22,7	29,0	75,4	465,8	81,9	85,0
26/Fev	8	24,0	23,0	21,6	24,0	73,3	463,9	88,6	88,0
	10	29,3	28,9	23,1	29,0	78,3	480,1	61,3	65,0
	12	30,5	29,3	24,5	32,8	80,1	505,1	68,8	48,0
	14	31,5	30,5	25,8	33,0	81,7	500,4	67,9	51,5
	16	31,5	30,7	25,1	33,5	81,4	496,6	65,0	46,0
	18	30,2	29,4	25,5	30,0	80,4	488,8	73,8	58,0
27/Fev	8	25,8	25,0	22,1	25,0	74,9	461,8	77,7	87,0
	10	29,3	28,9	23,1	28,0	78,4	480,1	61,3	65,0
	12	30,6	29,5	24,4	31,5	80,2	494,1	65,5	52,0
	14	32,0	30,5	25,4	33,0	82,2	517,7	69,6	47,0
	16	31,8	30,9	25,2	33,5	81,7	504,0	64,7	45,0
	18	30,6	29,7	24,9	31,0	80,6	496,5	69,7	49,0
28/Fev	8	26,9	26,1	22,2	25,0	76,0	472,7	73,5	86,0
	10	29,1	28,3	22,3	28,5	78,0	484,6	62,5	61,0
	12	30,6	29,5	24,3	31,5	80,1	499,1	65,4	51,0
	14	31,2	30,3	24,3	33,5	80,6	498,9	62,0	44,0
	16	31,5	30,7	24,9	34,0	80,9	494,8	62,3	42,0
	18	30,1	29,4	24,1	31,0	79,5	489,4	65,1	46,0
01/Mar	8	25,8	25,0	22,1	23,0	74,9	461,8	77,7	93,0
	10	29,3	28,9	23,1	28,5	78,3	480,1	61,3	66,0
	12	30,5	38,2	32,2	31,5	80,1	505,1	68,8	53,0
	14	31,9	40,5	32,8	34,0	81,5	502,6	61,7	48,0
	16	31,7	40,1	32,9	33,2	81,5	503,6	64,8	41,0
	18	30,3	36,9	30,4	32,5	79,9	485,9	63,9	44,0
02/Mar	8	26,8	25,8	22,9	25,0	76,1	468,1	76,6	87,0
	10	30,2	29,6	23,9	30,0	79,4	492,9	64,0	63,0
	12	31,4	30,6	25,3	33,0	81,2	494,1	66,3	52,0
	14	31,7	30,6	25,3	34,0	81,6	513,3	67,9	43,0
	16	31,4	31,2	25,6	34,5	81,4	491,3	64,6	46,0
	18	30,9	30,1	25,3	33,0	81,1	499,6	70,8	48,0
03/Mar	8	26,7	25,8	23,2	24,5	76,1	474,6	79,9	96,0
	10	30,7	30,3	24,7	30,0	80,4	494,8	64,6	63,0
	12	31,9	31,0	25,6	33,0	81,9	500,7	66,1	53,0
	14	31,6	31,4	26,5	33,5	82,0	485,2	68,1	50,0
	16	30,0	29,0	24,4	31,5	79,5	488,6	68,1	48,0
	18	29,6	28,6	25,1	31,0	80,0	492,6	76,5	60,0

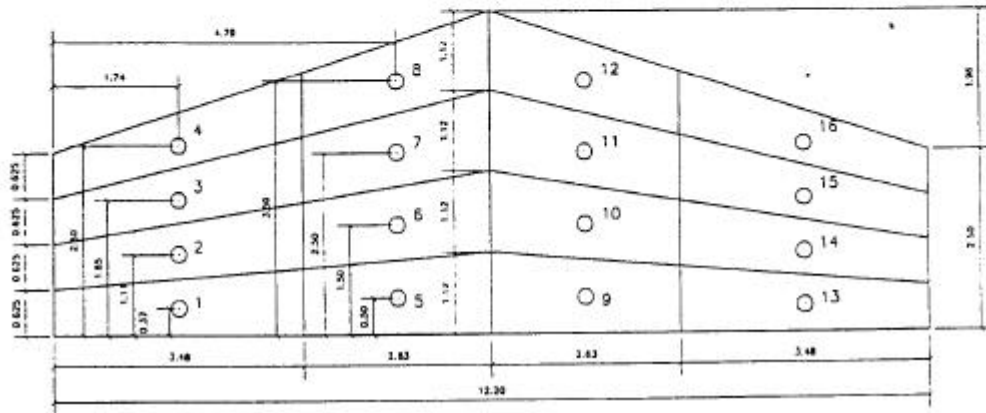
Quadro 2A – Valores médios horários para cada dia de observação da temperatura de globo negro interna TGN(int), temperatura de bulbo seco interna TBS(int), temperatura de bulbo molhado interna TBU(int), temperatura de bulbo seco externa TBS(ext), índice de temperatura de de globo negro e umidade interna ITGU (int), carga térmica de radiação interna CTR (int), umidade relativa interna UR(int) e umidade relativa (ext), para o sistema de ventilação negativa e modo túnel com painel evaporativo em celulose (SVNTC).

SVNTC

Dia	Hora	Tgn(int)	Tbs(int)	Tbu(int)	Tbs(ext)	ITGU(int)	CTR(int)	UR(int)	UR(ext)
21/Fev	8	25,8	24,5	23,0	22,5	75,5	481,2	89,2	93,0
	10	28,8	28,0	24,8	27,5	78,8	486,9	75,5	70,0
	12	31,1	29,6	25,4	31,0	81,3	516,0	71,2	57,0
	14	31,4	30,5	24,9	32,2	80,1	494,1	74,7	51,0
	16	29,7	28,8	25,5	32,5	80,2	495,5	77,6	50,5
	18	28,4	27,7	25,8	29,5	79,0	482,2	84,2	68,0
22/Fev	8	27,0	26,2	23,6	26,0	76,7	475,2	78,8	78,0
	10	29,9	29,4	24,9	29,0	79,9	486,9	89,8	65,0
	12	29,9	29,3	26,5	32,0	80,6	491,9	81,2	56,0
	14	29,9	28,9	26,1	33,5	80,6	493,5	81,2	51,5
	16	27,9	27,0	24,3	27,0	78,0	519,7	81,0	76,0
	18	26,8	26,2	24,5	25,0	77,0	472,4	86,2	92,0
23/Fev	8	26,4	25,1	23,6	23,5	76,2	478,0	89,5	96,0
	10	27,8	27,0	24,3	26,8	77,9	483,5	81,6	72,5
	12	30,0	29,3	25,4	28,5	80,3	495,3	73,8	67,0
	14	28,8	27,8	25,9	31,5	79,5	488,6	84,9	62,0
	16	29,6	28,9	26,4	33,0	80,6	500,1	85,0	54,0
	18	29,3	27,9	24,5	22,5	79,7	507,1	79,6	94,5
24/Fev	8	25,8	24,7	23,4	24,0	75,7	468,4	89,6	88,0
	10	28,9	28,8	24,9	29,0	79,1	477,7	73,9	71,5
	12	29,2	28,6	26,1	31,8	80,0	486,2	83,4	58,0
	14	29,5	29,0	26,4	31,5	80,3	486,8	83,1	61,5
	16	29,3	28,4	25,4	32,5	79,6	489,6	79,3	48,0
	18	28,8	28,5	25,9	29,0	79,5	478,3	80,6	75,0
25/Fev	8	26,2	25,4	23,9	27,5	76,4	473,3	87,9	85,0
	10	29,6	29,3	25,0	30,0	79,7	486,1	71,0	65,0
	12	29,1	28,1	25,7	31,8	79,6	487,9	81,8	57,0
	14	29,5	29,0	26,4	33,0	78,6	478,9	80,7	47,0
	16	28,3	27,3	24,9	30,5	78,4	484,1	81,8	59,0
	18	24,8	24,2	22,8	29,0	74,5	457,0	90,6	85,0
26/Fev	8	24,7	24,0	22,4	24,0	74,3	463,4	86,4	88,0
	10	29,2	28,7	23,8	29,0	78,9	482,4	69,2	65,0
	12	28,4	27,6	24,6	32,8	78,7	490,9	80,6	46,0
	14	28,2	27,7	24,9	33,0	78,6	478,9	80,7	51,5
	16	28,9	28,3	25,3	33,5	79,2	482,8	78,5	46,0
	18	28,5	27,9	25,4	30,0	79,2	484,7	81,3	56,0
27/Fev	8	26,6	25,5	22,9	25,0	76,3	480,2	83,0	87,0
	10	29,2	28,7	23,8	28,0	78,9	482,4	69,2	65,0
	12	28,8	27,9	24,7	31,5	79,1	492,9	79,2	52,0
	14	30,4	29,3	25,0	33,0	80,6	509,3	73,5	47,0
	16	28,8	27,8	24,8	33,5	79,3	493,6	80,1	45,0
	18	29,7	29,6	25,0	31,0	79,6	479,1	70,4	49,0
28/Fev	8	26,5	25,7	22,3	25,0	75,6	468,3	72,8	66,0
	10	29,6	29,1	23,4	28,5	79,1	488,6	64,0	61,0
	12	27,4	26,6	24,1	31,5	77,5	488,0	82,6	51,0
	14	27,9	27,3	24,5	33,5	77,7	478,6	77,5	44,0
	16	28,1	27,0	24,1	34,0	77,9	489,9	79,9	42,0
	18	27,4	26,7	24,0	31,0	77,4	480,0	80,8	46,0
01/Mar	8	26,6	25,5	22,9	23,0	76,3	480,2	83,0	93,0
	10	29,2	28,7	23,8	28,5	78,9	482,4	69,2	66,0
	12	28,4	26,4	22,5	31,5	78,7	490,9	80,6	53,0
	14	28,7	26,8	23,0	34,0	79,2	495,5	80,5	48,0
	16	29,1	26,8	22,1	33,2	78,8	496,4	76,9	41,0
	18	29,3	26,5	22,3	32,5	79,7	507,1	79,6	44,0
02/Mar	8	27,0	26,5	23,8	25,0	76,6	468,2	78,4	87,0
	10	30,3	29,9	25,1	30,0	80,4	486,4	70,6	63,0
	12	29,1	28,2	25,9	33,0	79,8	492,2	87,3	52,0
	14	29,2	28,4	25,2	34,0	79,5	493,3	77,7	43,0
	16	29,7	28,7	25,7	34,5	80,2	500,7	81,6	46,0
	18	29,5	28,6	25,7	33,0	80,2	494,4	81,7	48,0
03/Mar	8	26,9	26,1	23,9	24,5	76,8	475,8	82,5	96,0
	10	30,8	30,5	25,4	30,0	81,0	494,9	67,1	63,0
	12	29,8	28,9	25,9	33,0	80,0	495,3	80,4	53,0
	14	28,8	27,9	25,5	33,5	79,3	493,8	83,1	50,0
	16	28,0	27,7	24,6	31,5	78,1	476,9	77,5	48,0
	18	28,4	27,9	24,7	31,0	78,8	490,7	78,6	60,0

Quadro 3A e 4A – Valores Médios da Velocidade do Ar em Metros por Segundo Medidos no Interior dos Galpões nos sistemas SVNTC e SVNTC em Três Seções Correspondente a cada Terço da Instalação e nos Pontos Indicados Pela Figura.

Seção Transversal do Galpão



Área 42,58 m²

SVNTC

Pontos	Seção		
	1	2	3
1	2,9	1,5	1,8
2	3,0	1,9	2,3
3	2,5	2,2	2,6
4	2,2	1,8	1,8
5	2,9	2,3	2,7
6	2,5	2,8	2,6
7	2,6	2,5	2,4
8	2,7	1,8	2,3
9	2,9	1,7	2,1
10	2,3	2,4	2,7
11	2,0	2,3	2,4
12	2,1	1,9	1,7
13	1,4	1,6	1,9
14	1,5	2,2	2,3
15	1,3	2,4	2,5
16	1,1	1,7	1,7
média	2,2	2,1	2,2
	2,2 m/s		

SVNTA

Pontos	Seção		
	1	2	3
1	1,1	1,1	1,2
2	1,4	1,5	1,5
3	1,4	1,6	0,9
4	1,6	1,3	0,6
5	2,0	2,1	1,7
6	2,0	2,0	1,7
7	1,7	1,7	1,9
8	1,2	1,2	1,6
9	1,5	1,7	1,9
10	1,7	1,9	1,7
11	2,0	1,9	1,9
12	1,8	1,4	1,9
13	1,2	1,1	0,9
14	1,8	1,6	1,6
15	2,1	1,6	1,6
16	1,4	1,2	0,7
média	1,6	1,6	1,5
	1,5 m/s		

Quadro 5A – Tabela de redução de temperatura por meio do sistema de resfriamento evaporativo elaborada por Basenge Indústria e Comércio Ltda.

TABELA DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA POR MEIO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

Temp. Externa	U.R. Externa	Temp. Resultante	Redução Temp.	Temp. Externa	U.R. Externa	Temp. Resultante	Redução Temp.	Temp. Externa	U.R. Externa	Temp. Resultante	Redução Temp.	Temp. Externa	U.R. Externa	Temp. Resultante	Redução Temp.
22°C	20%	12,5	9,5	28°C	20%	17	11	34°C	20%	21	13	40°C	20%	25	15
	25%	13	9		25%	17,5	10,5		25%	22	12		25%	26,5	13,5
	30%	14	8		30%	18,5	9,5		30%	23	11		30%	28	12
	35%	14,5	7,5		35%	19	9		35%	24	10		35%	29	11
	40%	15	7		40%	20	8		40%	25	9		40%	30	10
	45%	15,5	6,5		45%	21	7		45%	26	8		45%	31	9
	50%	16,5	5,5		50%	21,5	6,5		50%	27	7		50%	32	8
	55%	17	5		55%	22,5	5,5		55%	28	6		55%	33	7
	60%	18	4		60%	23	5		60%	28,5	5,5		60%	34	6
	65%	18,5	3,5		65%	24	4		65%	29	5		65%	35	5
70%	19	3	70%	24,5	3,5	70%	30	4	70%	35,5	4,5				
75%	19,5	2,5	75%	25	3	75%	31	3	75%	-	-				
23°C	20%	13	10	29°C	20%	17,5	11,5	36°C	20%	21,5	13,5	41°C	20%	26	15
	25%	14	9		25%	18,5	10,5		25%	22,5	12,5		25%	27,5	13,5
	30%	15	8		30%	19,5	9,5		30%	24	11		30%	28,5	12,5
	35%	15,5	7,5		35%	20	9		35%	25	10		35%	30	11
	40%	16	7		40%	21	8		40%	25,5	9,5		40%	31	10
	45%	16,5	6,5		45%	22	7		45%	27	8		45%	32	9
	50%	17,5	5,5		50%	22,5	6,5		50%	28	7		50%	33	8
	55%	18	5		55%	23,5	5,5		55%	28,5	6,5		55%	34	7
	60%	18,5	4,5		60%	24	5		60%	29,5	5,5		60%	35	6
	65%	19	4		65%	24,5	4,5		65%	30	5		65%	36	5
70%	20	3	70%	25,5	3,5	70%	31	4	70%	-	-				
75%	20,5	2,5	75%	26	3	75%	31,5	3,5	75%	-	-				
24°C	20%	13,5	10,5	30°C	20%	18	12	36°C	20%	22,5	13,5	42°C	20%	26,5	15,5
	25%	14,5	9,5		25%	19	11		25%	23,5	12,5		25%	28	14
	30%	15,5	8,5		30%	20	10		30%	24,5	11,5		30%	29	13
	35%	16	8		35%	21	9		35%	25,5	10,5		35%	30,5	11,5
	40%	17	7		40%	22	8		40%	26,5	9,5		40%	31,5	10,5
	45%	17,5	6,5		45%	22,5	7,5		45%	27,5	8,5		45%	33	9
	50%	18	6		50%	23,5	6,5		50%	28,5	7,5		50%	34	8
	55%	19	5		55%	24	6		55%	29,5	6,5		55%	35	7
	60%	19,5	4,5		60%	25	5		60%	30,5	5,5		60%	36	6
	65%	20	4		65%	25,5	4,5		65%	31	5		65%	-	-
70%	20,5	3,5	70%	26,5	3,5	70%	32	4	70%	-	-				
75%	21	3	75%	27	3	75%	32,5	3,5	75%	-	-				
25°C	20%	14,5	10,5	31°C	20%	19	12	37°C	20%	23	14	43°C	20%	27,5	15,5
	25%	15,5	9,5		25%	20	11		25%	24	13		25%	29	14
	30%	16	9		30%	21	10		30%	25,5	11,5		30%	30	13
	35%	17	8		35%	21,5	9,5		35%	26,5	10,5		35%	31	12
	40%	18	7		40%	22,5	8,5		40%	27,5	9,5		40%	32,5	10,5
	45%	18,5	6,5		45%	23,5	7,5		45%	28,5	8,5		45%	33,5	9,5
	50%	19	6		50%	24,5	6,5		50%	29,5	7,5		50%	34,5	8,5
	55%	20	5		55%	25	6		55%	30	7		55%	35,5	7,5
	60%	20,5	4,5		60%	26	5		60%	31	6		60%	36,5	6,5
	65%	21	4		65%	26,5	4,5		65%	32	5		65%	-	-
70%	21,5	3,5	70%	27	4	70%	33	4	70%	-	-				
75%	22	3	75%	28	3	75%	33,5	3,5	75%	-	-				
26°C	20%	15,5	10,5	32°C	20%	19,5	12,5	38°C	20%	24	14	44°C	20%	28	16
	25%	16	10		25%	20,5	11,5		25%	25	13		25%	29,5	14,5
	30%	17	9		30%	21,5	10,5		30%	26	12		30%	31	13
	35%	18	8		35%	22,5	9,5		35%	27	11		35%	32	12
	40%	19	7		40%	23,5	8,5		40%	28,5	9,5		40%	33,5	10,5
	45%	19,5	6,5		45%	24	8		45%	29,5	8,5		45%	34,5	9,5
	50%	20	6		50%	25	7		50%	30,5	7,5		50%	35,5	8,5
	55%	21	5		55%	26	6		55%	31	7		55%	36,5	7,5
	60%	21,5	4,5		60%	27	5		60%	32	6		60%	-	-
	65%	22	4		65%	27,5	4,5		65%	33	5		65%	-	-
70%	22,5	3,5	70%	28	4	70%	34	4	70%	-	-				
75%	23	3	75%	29	3	75%	34,5	3,5	75%	-	-				
27°C	20%	16	11	33°C	20%	20,5	12,5	39°C	20%	24,5	14,5	46°C	20%	29	16
	25%	17	10		25%	21,5	11,5		25%	26	13		25%	30	15
	30%	17,5	9,5		30%	22,5	10,5		30%	27	12		30%	31,5	13,5
	35%	18,5	8,5		35%	23	10		35%	28	11		35%	33	12
	40%	19	8		40%	24	9		40%	29	10		40%	34	11
	45%	20	7		45%	25	8		45%	30	9		45%	35,5	9,5
	50%	21	6		50%	26	7		50%	31	8		50%	36,5	8,5
	55%	22	5		55%	27	6		55%	32	7		55%	-	-
	60%	22,5	4,5		60%	28	5		60%	33	6		60%	-	-
	65%	23	4		65%	28,5	4,5		65%	34	5		65%	-	-
70%	23,5	3,5	70%	29	4	70%	35	4	70%	-	-				
75%	24	3	75%	30	3	75%	35,5	3,5	75%	-	-				