

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DO RESFRIAMENTO EVAPORATIVO POR PAINÉIS COMPOSTOS DE BUCHA VEGETAL (*LUFFA AEGYPTIACA*) E ARGILA EXPANDIDA PARA ACONDICIONAMENTO TÉRMICO DE AMBIENTES¹

Carlos Martins Viana²
Eduarda Barbosa Oliveira³
Isla Rosa de Mendonça Machado⁴
José Francisco Vilela Rosa⁵

Resumo: Com a finalidade de melhorar as condições ambientais internas das instalações para produção animal, em climas quentes – como no Brasil – tem sido utilizado o Sistema de Resfriamento Evaporativo, que é uma das formas de climatização mais comuns e em expansão, no caso é utilizado um sistema de ventilação em modo túnel, associado aos sistemas de resfriamento evaporativo composto por painéis de material poroso umedecido por gotejamento, através do qual o ar que o atravessa é resfriado antes de adentrar o alojamento. Nos painéis, usualmente são empregadas placas de celulose, que apresentam desempenho bastante satisfatório no arrefecimento do ar. Entretanto, alguns problemas estão associados à utilização desse material: baixa durabilidade, vulnerabilidade, dificuldade de aquisição e custo elevado. Muitos estudos mostram que é viável o uso de materiais alternativos em substituição à celulose, contudo, nenhum desses trabalhos finalizou a questão relativa ao melhor material e às dimensões adequadas que possibilitem eficiências de resfriamento do ar similar à conseguida com o material-padrão. Diante do exposto, objetiva-se em resumo com este trabalho: analisar e comparar a argila expandida e a bucha vegetal em painéis evaporativos, obter modelos estatísticos para cálculo da eficiência de resfriamento do ar e aplicar os princípios da conservação de massa e energia nesse dimensionamento para validação dos modelos do experimento, comparando-os com o painel evaporativo comercial de celulose. Nesta pesquisa será dada uma sequência aos estudos realizados anteriormente no programa de Iniciação Científica sobre o tema de arrefecimento térmico de ambientes em parceria com o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Palavras chave: Argila expandida, Bucha vegetal; Resfriamento evaporativo, Eficiência do painel.

Abstract: In order to improve environmental internal conditions of facilities for animals livestock production in warm climates – like in Brazil – has been used The Evaporative Cooling System is one of air-conditioned and the most common and expanding, of air- conditioning has been used, if you use a wind systems in tunnel, the associated evaporative cooling panels consist

of material porous in humid drip, through, when the air passes through it is cooled before entering the property. On panel put in the cellulose plate and present satisfactory performance in air temperature reduce. However, some problems are associated with the use of this material: low durability, vulnerability, hard and high cost of acquisition. Many studies show that it is feasible to use alternative materials to replace cellulose, however, none of these works completed the question regarding the best material and appropriate size that enable efficiencies of cooling similar to that achieved with the standard equipment air. Given the above, the objective is to abstract of this work was to analyze and compare the expanded clay and vegetable loofah in evaporative panels, obtain statistical models for calculating the cooling efficiency of the air and apply the principles of conservation of mass and energy into this sizing to model validation experiment, comparing them with commercial cellulose evaporative panel. This research will be given a sequence to previous studies in scientific initiation program on the subject of thermal temperature reducing cooling environments in partnership with the Department of Agricultural Engineering, Federal University of Viçosa.

Keywords: Expanded clay, Vegetable loofah, Evaporative cooling, Efficiency of panel.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de materiais de origem animal do mundo, apresentando melhorias importantes nas áreas da genética, nutrição, manejo e sanidade. Contudo, em decorrência de fatores climáticos adversos em grande parte do ano, associados à tipologia aberta e sem isolamento térmico dos alojamentos, muitos animais não conseguem atingir todo o seu potencial produtivo, resultando na perda de peso médio dos animais, mortalidade e queda de rendimento financeiro das indústrias. (ROSA, 2009)

Assim, é necessário a utilização de métodos para o acondicionamento térmico dos recintos, a fim de reduzir eventuais efeitos negativos sobre os animais. Uma técnica de modificação ambiental usualmente empregada no arrefecimento de instalações é o resfriamento evaporativo do ar.

O sistema de resfriamento utilizando a argila expandida e a bucha vegetal com uma superfície umedecida ou aspergida, utilizando-se meios de para aperfeiçoar esse contato, como ventiladores e exaustores. Por troca simultânea de calor e massa ocorre a vaporização da água e o umedecimento do ar.

Além do arrefecimento térmico, o sistema de resfriamento evaporativo é utilizado para a umidificação e purificação de ambientes, tratamento do ar em locais poluídos e tem larga aplicação na indústria de produção animal e no acondicionamento de grandes espaços.

Este trabalho: tem por objetivo obter um modelo es-

tatístico que permita comparar e analisar placas porosas em argila expandida (cinasita) com a bucha vegetal para todas as condições de temperaturas e velocidades das correntes de ar, e condições de espessuras, painéis e granulometrias das argilas, para identificar qual tem melhor eficiência. Além disso, aplicar os princípios da conservação de massa e energia no dimensionamento de placas evaporativas de argila expandida e validação por meio do experimento e comparações com o painel evaporativo comercial e de bucha vegetal.

Influência do clima na produção animal

O ambiente é caracterizado por um conjunto de fatores climáticos que exercem influência de maneira favorável ou desfavorável ao desenvolvimento biológico e desempenho produtivo dos animais (CURTIS, 1983).

A intensa radiação solar e os altos valores de temperatura e umidade de ar, em regiões com climas tropicais e subtropicais, afetam negativamente o desempenho produtivo dos plantéis por se mostrarem limites à atividade de produção animal (TINÔCO, 1988).

Segundo Bond *et al.* (1954), um ambiente é considerado confortável pelos homeotérmicos quando o calor produzido pelo metabolismo animal é perdido para o meio ambiente sem prejuízo do rendimento animal. De acordo com Souza (1996), para compensar a produção de calor de maneira a garantir a homeotermia, involuntariamente os animais perdem o apetite, ingerem menos ração, com conseqüente redução do ganho médio de peso, aumento da mortalidade e prejuízo na eficiência

produtiva esperada.

Visando o equilíbrio térmico entre o animal e o ambiente, artifícios são utilizados para se chegar a uma faixa estabelecida como ótima de conforto animal. Entre eles destaca-se o sistema de resfriamento adiabático evaporativo do ar ambiente em modo túnel (TINÓCO, 1988, 1996).

RESFRIAMENTO ADIABÁTICO EVAPORATIVO DO AR

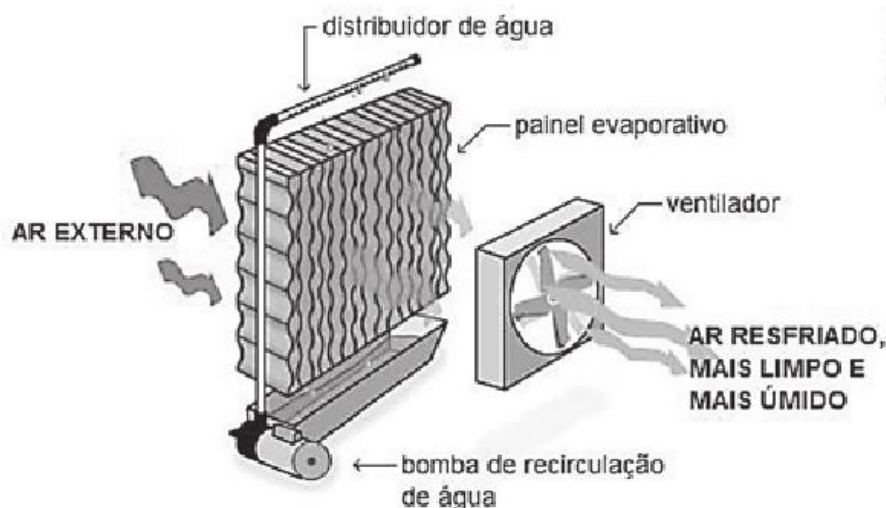
O resfriamento evaporativo é um processo natural que consiste na redução da temperatura do ar e elevação de sua umidade relativa a partir da incorporação de água ao ar, por meio de mecanismos artificiais e/ou naturais que promovem simultânea transferência de calor e massa entre o ar e a água por ele incorporada (PIMENTA; CASTRO, 2003).

Devido à perda de energia latente no processo de

evaporação, ocorre um abaixamento na temperatura da água, que por sua vez é compensado pelo calor passado do entorno para a superfície do líquido, sob regime permanente. Nessas características, quando o ar ao redor transfere a mesma energia cedida pela água, ele atingiu a temperatura de bulbo úmido (TBU), não variando a temperatura. Em decorrência do calor cedido, o ar sofrerá um decaimento em sua temperatura. (ROSA, 2009)

O resfriamento evaporativo é considerado adiabático tendo em vista que quando a água evapora em uma corrente de ar livre, sem suprimento externo de calor, a temperatura de bulbo seco (TBS) do ar é reduzida e seu conteúdo de umidade é elevado, enquanto sua temperatura termodinâmica de bulbo úmido (TBU) permanece constante. Esse processo, que ocorre sem adição ou extração de calor, é denominado adiabático, pois a quantidade total de calor do ar (sensível e latente) permanece constante. (ROSA, 2009)

FIGURA 1 - Sistema de resfriamento adiabático evaporativo do ar



Fonte: Acervo digital empresa Climatizas

Nesse processo de resfriamento, a evaporação da água ocorre quando suas moléculas próximas à superfície recebem energia do interior em quantidade superior à necessária para manter as ligações moleculares da fase líquida. Essa energia latente, cedida pela água, resulta num resfriamento, que, no entanto, em regime permanente, é compensado pela energia transferida do entorno para a superfície do líquido. (ROSA, 2009)

O processo de evaporação, em resumo, depende da velocidade do ar, da umidade relativa do ar, da temperatura da água e da superfície de contato entre a água e o ar.

Teoricamente, nos sistemas de resfriamento evaporativo, a temperatura da água permanece constante. Sendo assim, toda a evaporação serve para resfriar o ar e

não a água. Entretanto, na prática, a água adquire calor sensível. Esse calor pode ter como fonte a transferência de calor ambiente e radiação solar. Dessa forma, a maioria dos “comportamentos adiabáticos” em resfriamento evaporativo representa apenas uma aproximação. (WATT; BROWN, 1997)

Classificação dos sistemas de resfriamento evaporativo

Segundo GIVONI(1994), os sistemas de resfriamento evaporativo podem ser classificados quanto ao contato da água evaporada com ar a ser resfriado e quanto à energia requerida para promover a evaporação. Sendo eles:

- Resfriamento evaporativo direto: quando a água evapora com o ar que se deseja resfriar, umidificando-o;
- Resfriamento evaporativo indireto: quando o ar a ser resfriado mantém-se separado do processo evaporativo e sem receber umidade;
- Resfriamento evaporativo em duplo estágio: sistemas que utilizam o processo direto e indireto;
- Resfriamento passivo: quando a evaporação ocorre naturalmente, sem consumo de energia, como no caso do uso de vegetação, de fontes d'água, torres de resfriamento e tanques na cobertura;
- Resfriamento semipassivo: sistemas em que a evaporação é promovida ou intensificada através de dispositivos mecânicos.

Classificação dos sistemas de resfriamento evaporativo

Os sistemas de resfriamento evaporativo podem, segundo Givoni (1994), ser classificados quanto ao contato da água evaporada com ar a ser resfriado e quanto à energia requerida para promover a evaporação:

- (a) Resfriamento evaporativo direto: quando a água evapora com o ar que se deseja resfriar, umidificando-o;
- (b) Resfriamento evaporativo indireto: quando o ar a ser resfriado mantém-se separado do processo evaporativo e sem receber umidade;

RESFRIAMENTO EVAPORATIVO DIRETO (RED)

O processo de resfriamento evaporativo direto atua com a conversão de calor sensível em calor latente. A corrente de ar (mistura ar seco e vapor de água) é resfriada por evaporação da água para o ar. A adição de vapor d'água aumenta o calor latente e a umidade relativa do ar. Considerando que as perdas de calor para o ambiente sejam desprezíveis,

o processo pode ser considerado adiabático e, dessa forma, o aumento do calor latente é compensado por uma redução do calor sensível e consequente diminuição da temperatura de bulbo seco do ar. (CASTRO, 2003)

O RED ocorre com um resfriamento que em contato direto com a superfície líquida ou superfície sólida molhada. A água vaporizada dentro da corrente de ar e o calor da massa a serem transferidos entre o ar e a água reduzem a temperatura de bulbo seco de ar e aumenta a umidade, reduzindo a temperatura: em razão disso, temos o resfriamento adiabático.

Para que haja bom funcionamento do sistema é necessária uma saída do ar adequada para o ambiente e aparelho utilizado, respeitando a mesma quantidade que entra. Equipamentos de refrigeração direta resfriam o ar por contato direto: com uma superfície líquida; com uma superfície sólida molhada; e por fim, por meio de sprays. (CAMARGO, 2003, 2004)

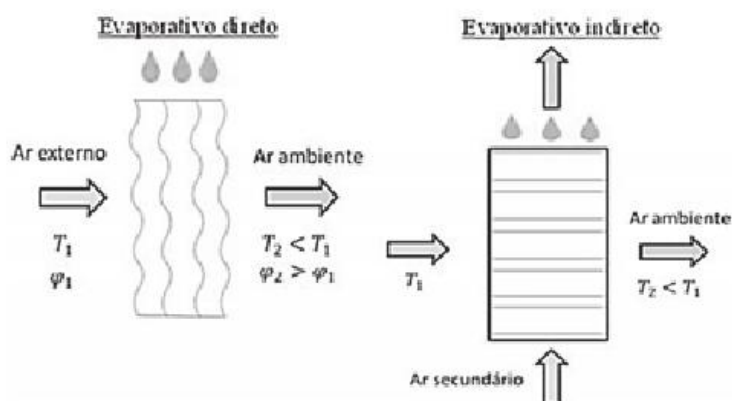
RESFRIAMENTO EVAPORATIVO INDIRETO

O resfriamento evaporativo indireto envolve duas correntes de ar que passam pelo trocador de calor simultaneamente, mas sem entrar em contato um com o outro. A Fig. (1) ilustra a diferença entre o resfriamento evaporativo direto e indireto. No evaporativo indireto, o ar principal e o ar secundário entram nas mesmas condições, porém seguindo caminhos diferentes. O ar principal é resfriado e entra nos ambientes que necessitam de climatização.

Este ar principal pode ser o ar de retorno do ambiente interno, ou ainda, pode se misturar com uma parcela do ar externo e ser resfriado logo em seguida.

O ar secundário é o ar que entra em contato com a água e que ajuda na evaporação, resfriando as superfícies do trocador de calor, que efetivamente resfriam

Figura. 2. Sistemas de resfriamento evaporativo



Fonte: (BASTOS, 2011);

o ar primário. O ar secundário normalmente é proveniente do ambiente externo ao edifício e é descartado após o seu uso, como pode ser observado na Fig (2). Este ar entra na parte inferior, e após trocar calor com a superfície externa do tubo, ele é descartado na parte superior através do uso de um ventilador secundário.

Os elementos de maior importância dos sistemas evaporativos indiretos são as superfícies do trocador de calor, que separam o ar de alimentação do ar secundário e da água em que este último ar está evaporando. As superfícies absorvem calor do ar de alimentação e transferem para o ar secundário úmido, que é descartado. As superfícies podem ser placas ou tubos, de metal ou de plástico, ou outras configurações. São exigidos das superfícies uma boa condutividade térmica, separação das duas correntes de ar e resistência à corrosão. (BASTOS, 2011)

Um avanço na tecnologia do resfriamento evaporativo deve-se à introdução dos equipamentos de resfriamento indireto, nos quais o ar, relativamente seco, (ar primário), é mantido separado do ar do lado molhado, (ar secundário), onde o líquido está evaporando, pela presença de um trocador de calor. Neste caso, o ar que será utilizado para condicionar o ambiente (ar primário) transfere calor para uma corrente de ar secundária ou para um líquido, onde foram resfriados evaporativamente, como podemos observar na figura 3 abaixo. (CAMARGO, 2004)

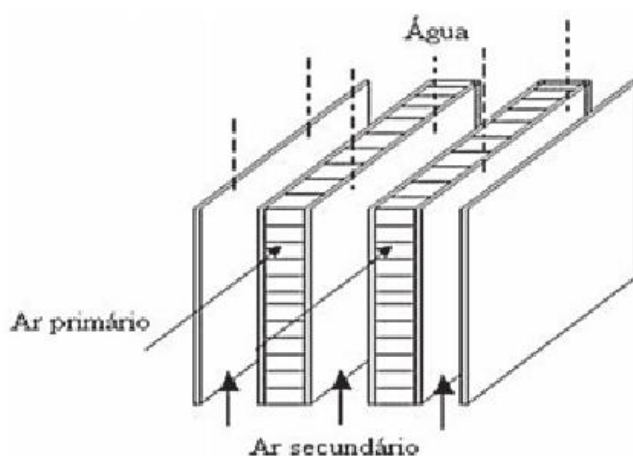
MATERIAIS UTILIZADOS NAS CÉLULAS EVAPORATIVAS

O sistema de resfriamento adiabático evaporativo tem sido aplicado com eficiência e economia para gerar redução da temperatura em construções agrícolas em países de clima quente e seco. Para isso, o material empregado no enchimento dos resfriadores evaporativos deve ser responsável por promover a evaporação da água pelo ar e filtrar partículas maiores. Usualmente, os materiais empregados nos painéis são: fibra de vidro, celulose, polipropileno e fibra de madeira. (ROSA, 2009)

Mundialmente, por apresentar uma boa eficiência no arrefecimento do ar, o material mais utilizado nos painéis evaporativos é a celulose. Entretanto, alguns problemas associados ao uso desse material no Brasil, como, por exemplo: a baixa durabilidade devido à vulnerabilidade a ataque de roedores e microorganismos; dificuldade de aquisição e alto custo. Esses fatores fazem com que seja viável a utilização de materiais alternativos. (ROSA, 2009)

Em estudos desenvolvidos por Tinôco *et al.* (2002) para a avaliação do conforto térmico ambiente através do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da umidade relativa do ar (UR), foi possível concluir que, dentre alguns materiais porosos encontrados no Brasil, a argila expandida poderia satisfazer, com vantagem econômica, a utilização da celulose no processo de resfriamento evaporativo.

Figura 3 – Resfriador evaporativo indireto



Fonte: (ALMEIDA, 2009)

ARGILA EXPANDIDA

A argila expandida é um material cerâmico, originado do tratamento térmico de um tipo de argila especial pré-histórica. Sua matéria-prima natural é triturada, de modo a formar partículas muito finas, e submetida a um choque térmico de 1000°C a 1200°C em grandes fornos rotativos. Próximo dessa temperatura, reações químicas internas ocorrem expandindo-a em até sete vezes o seu volume inicial. O resultado é um material

quimicamente inerte, de elevada resistência mecânica, incombustível e com uma estrutura altamente porosa. (GEA *et al.*, 2003)

É empregada na construção civil como agregado para a produção de concreto estrutural leve, concreto refratário, mistura asfáltica para pavimentação à quente e em blocos de concreto leves. Tais aplicações são fundamentadas no seu desempenho termoacústico e baixos valores de massa específica, como pode ser visto no quadro 1:

Quadro 1 – Características médias da argila expandida

Características Médias	Cinasita
Massa específica aparente (kg/m ³)	353
Massa específica seca (kg/m ³)	345
Massa específica saturada (kg/m ³)	610
Diâmetro máximo (mm)	25
Absorção (% vol / 24h)	8,3

Fonte: Rosa (2009)

Quadro 2 – Características granulométricas da argila expandida

Granulometrias			
Tamanho	Diâmetro	Equivalência	Densidade
Grande (3222)	22 a 32 mm	Brita 2	400/480 kg/m ³
Médio (2215)	15 a 22 mm	Brita 1	450/530 kg/m ³
Fino (1506)	6 a 15 mm	Brita 0	580/660 kg/m ³
Restolho	Abaixo de 6 mm	Areia grossa	800/880 kg/m ³

Fonte: Rosa (2009)

SISTEMA DE VENTILAÇÃO EM MODO TÚNEL

Entende-se por ventilação o processo de renovação do ar em um ambiente. Permite o controle da pureza do ar, eliminando ou reduzindo os níveis de gases nocivos, excesso de umidade e odores. É um artifício utilizado visando ao conforto ambiental. (ROSA, 2009)

A ventilação pode ser de dois tipos: natural ou forçada. Esta última, utilizada no modo túnel, pode ser realizada de duas formas: sistema de pressão negativa ou exaustão; e sistema de pressão positiva ou pressurização.

No sistema de ventilação negativa, o ar é succionado para dentro do ambiente por meio de exaustores. A eficiência desse processo depende de uma boa vedação do aviário, evitando perdas de ar. Já no sistema de ventilação positiva, o ar externo é insuflado para dentro da instalação por meio de ventiladores. (ROSA, 2009)

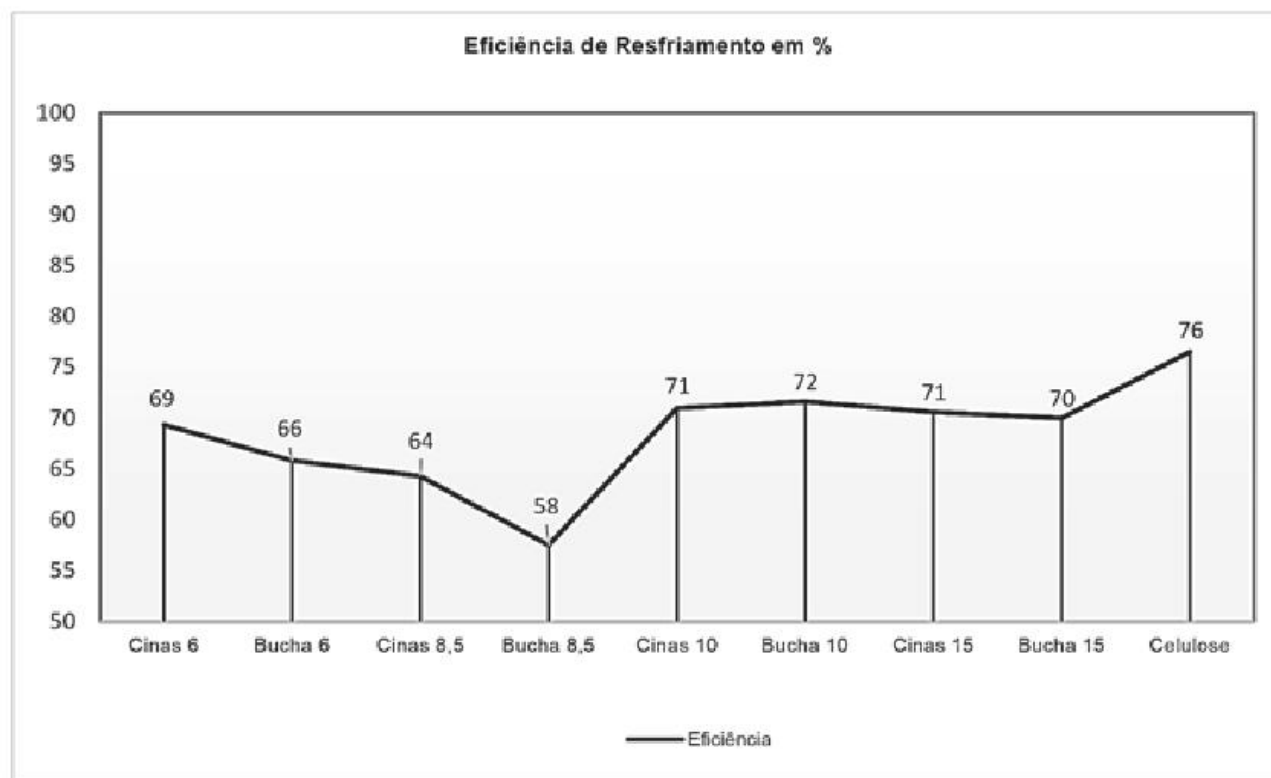
METODOLOGIA

O experimento foi realizado nos períodos: 19, 20 e 21 de Junho e 21 e 22 de Setembro de 2013, no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, gentilmente cedido pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG. Utilizando o túnel de vento já construído por equipes de pesquisas anteriores, adaptado exclusivamente para essa pesquisa. As coletas de dados foram realizadas em 3 repetições. Em cada uma delas foi realizada a medida mudando as espessuras do painel de argila expandida e bucha vegetal, entre 6,0cm; 8,5cm; 10cm e 15 cm. O material utilizado nesse experimento foram os painéis de celulose.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico abaixo mostra as eficiências de resfriamentos obtidas para cada painel, (Argila Expandida - Cinas e Bucha vegetal -Bucha) para cada espessura, sendo elas de 6 cm, 8,5 cm, 10 cm e 15 cm. O painel de celulose servia como a testemunha de comparação.

GRÁFICO 1 – EFICIÊNCIA DE RESFRIAMENTO



Fonte: elaborado pelo autor

CONCLUSÕES

Observamos que todos os painéis alcançaram resultados médios próximos ao da testemunha: 76% de resfriamento. Entretanto, os painéis com as espessuras de 10 e 15 cm, tanto para a argila expandida quanto para a bucha vegetal, mostraram uma excelente aproximação ao esperado nos momentos da realização das medidas.

O resfriamento adiabático evaporativo obtido nas maiores espessuras em comparação as menores, se explicam em função da massa líquida de água percorrer um caminho maior por entre os materiais que compõem os painéis.

Concluimos que estes dois materiais alternativos – argila expandida e bucha vegetal – podem substituir os materiais industrializados para esta finalidade de resfriamento de ambientes, como por exemplo, os painéis de celulose corrugada.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Igor Marcel. Barbosa, Fontes. *Análise da viabilidade da aplicação do resfriamento evaporativo no estado do Rio Grande do Norte*. Disponível em: <http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/75_2521_914.pdf> Acesso em: 26 nov. 2013.

BASTOS, Alexandre. *Avaliação do uso de resfriamento evaporativo indireto em sistemas de climatização de edificações comerciais*. 2011. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_

TCC_002_2011.pdf> Acesso em: 27 nov. 2013.

BOND, T. EL; NEUBAUER, C.F.; ITTNER, N.R. *Radiation studies of painted shade materials*. Agricultural Engineering, v.35, n.6, p.389-392, 1954.

CAMARGO, José. *Resfriamento evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente*. Universidade de Taubaté. Disponível em: <http://site.unitau.br/scripts/prppg/exatas/downloads/v_9_10/069.pdf> Acesso em: 27 nov. 2013.

CAMARGO, J.R. *Sistemas de resfriamento evaporativo e evaporativo-adsorativo aplicados ao condicionamento de ar*. 2003. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá-SP, 2003.

CASTRO, W. P. *Projeto de sistemas de climatização por resfriamento evaporativo*. (2003). Disponível em: <http://www.laar.unb.br/Relatorios_PG/Relatorio_final_Wagner_Castro.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2011.

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

GEA, M.; HOYOS, D.; IRIARTE, A.; LESINO, G. *Estudio de arcila expandida como relleno de intercambiadores para estriamento evaporativo*. *Avances em Energia Renovables y Médio ambiente*, v.7, n.2, 2003, Argentina, p.8-37 a 8-42. Disponível em: <www.asades.org.ar/averna/7-2003/art085.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2013.

GIVONI, B. *Passive and low energy cooling of buildings*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

PIMENTA, J. M. D.; CASTRO, W. P. *Analysis of different applications of evaporative cooling systems*. *Proceedings of the 17th International Congress of Mechanical Engineering*, São Paulo - SP. COBEM 2003.

ROSA, J. F. V. *Avaliação de painéis porosos constituídos de argila expandida em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo*. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola). Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SILVA, J. G. *Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização*. São Paulo: Artliber Editora, 2003.

SOUZA, J.C. *Conforto ambiental para aves – ponto de vista do produtor (frangos de corte)*. In: SIMPOSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2, 1996, Goiânia – GO. Anais, 1996, p.61-62.

TINÓCO, I. F. F. *Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte*. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola). Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 1988.

TINÓCO, I. F. F. *Efeitos de diferentes sistemas de condicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte*. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VIGODERIS, R. B. *Desenvolvimento de um protótipo para resfriamento adiabático evaporativo, em instalações climatizadas para animais, usando argila expandida*. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Agrícola). Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2002.

WATT, J.R.; BROWN, W.K. *Evaporative air conditioning handbook*. 3rd edition. Lilburn, 1997.

NOTAS

¹O manuscrito insere-se dentro da pesquisa: "Análise comparativa da eficiência do resfriamento evaporativo por painéis compostos de bucha vegetal (*Luffa Aegyptiaca*) e argila expandida para acondicionamento térmico de ambientes".

²Discente do curso de Engenharia Química, voluntário de Iniciação Científica do Centro Universitário Newton Paiva.

³Discentes do curso de Engenharia Química, bolsistas de Iniciação Científica do Centro Universitário Newton Paiva.

⁴Discentes do curso de Engenharia Química, bolsistas de Iniciação Científica do Centro Universitário Newton Paiva.

⁵Professor orientador da pesquisa, docente do Centro Universitário Newton Paiva.