

ANÁLISE COMPUTACIONAL DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR CONVECTIVO DE BOVINOS LEITEIROS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

ANDRESSA CARVALHO DE SOUSA¹, JOSÉ CASSIO SOUSA DOS SANTOS²,
FRANCISCA INGRID FERREIRA CARDOSO³, CESAR LOPES DOS REIS⁴,
NÍTALO ANDRÉ FARIAS MACHADO⁵

¹ Estudante do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, MA, andressa.carvalho1@discente.ufma.br

² Estudante do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, MA

³ Estudante do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, MA

⁴ Estudante do Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, MA

⁵ Eng. Agrônomo, Dr. em Engenharia agrícola, Prof. da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, MA

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A compressão das trocas de calor pode fornecer informações valiosas para o manejo ambiental em propriedades leiteiras. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a transferência de calor por convecção em bovinos leiteiros, utilizando simulações fluidodinâmicas pelo método dos elementos finitos. Inicialmente, foram coletados dados das condições ambientais, fisiológicas e morfométricas dos animais da Unidade de Pesquisa em Nutrição de Gado de Leite da Universidade Federal do Maranhão, em Chapadinha, MA. Com base nesses dados, foram realizadas simulações no software ANSYS Fluent 15 (Ansys Inc.) utilizando o método Navier-Stokes (RANS) com média de Reynolds constante, pelo modelo $k-\omega$. Os resultados obtidos mostraram que a transferência de calor convectiva teve uma média de 523,196 W e uma variação de acordo com a orientação do animal em relação à direção do fluxo de ar, sendo de 448.079 W para a orientação de 0° e 598.313 W para a orientação de 30° (+33.52%). A aplicação das simulações computacionais pelo método dos elementos finitos possibilitou estimar a perda de calor por convecção. Portanto, conclui-se que essa tecnologia pode auxiliar na quantificação da resposta ao estresse térmico em bovinos leiteiros.

PALAVRAS-CHAVE: conforto térmico, estresse térmico, pecuária de precisão.

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN DAIRY CATTLE USING THE FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT: The compression of heat exchange can provide valuable information for environmental management in dairy farms. In this regard, the present study aimed to evaluate convective heat transfer in dairy cattle using fluid dynamic simulations based on the finite element method. Initially, data on environmental, physiological, and morphometric conditions of the animals were collected from the Dairy Cattle Nutrition Research Unit at the Federal University of Maranhão, in Chapadinha, MA. Based on this data, simulations were conducted using the ANSYS Fluent 15 software (Ansys Inc.) employing the Navier-Stokes method (RANS) with constant Reynolds averaging, using the $k-\omega$ model. The results showed that the convective heat transfer had an average of 523.196 W. Furthermore, it was observed that the convective heat transfer varied according to the orientation of the animal with respect to the airflow direction, being 448.079 W for the 0° orientation and 598.313 W for the 30° orientation

(+33.52%). The application of computer simulations by the finite element method made it possible to estimate heat loss by convection. Therefore, it is concluded that this technology can help in the quantification of the response to heat stress in dairy cattle.

KEYWORDS: thermal comfort, heat stress, livestock precision farm.

INTRODUÇÃO: O estresse térmico pode ter efeitos deletérios no bem-estar e desempenho dos animais, sendo particularmente preocupante para os bovinos leiteiros, que são altamente sensíveis a variações de temperatura. O estresse térmico em bovinos leiteiros tem sido associado a uma série de impactos negativos, incluindo redução na taxa de concepção, diminuição do consumo de matéria seca e afetação da produção e qualidade do leite (JI et al., 2020). Esses efeitos adversos têm um impacto direto na lucratividade dos criadores e na indústria de laticínios como um todo. Diante desse cenário, é crucial estabelecer estratégias de adaptação e mitigação dos efeitos do estresse térmico em bovinos leiteiros. Nesse sentido, a compressão das trocas de calor pode fornecer informações valiosas para entender e lidar com esse problema. A simulação computacional pelo método dos elementos finitos (FEM), amplamente utilizado mundialmente, apresenta-se como uma ferramenta promissora para prever eventos e avaliar produtos e processos agrícolas (DAMASCENO et al., 2020; IQBAL et al., 2021; SANTOS et al., 2021). O FEM permite realizar cálculos complexos, incluindo estudos de trocas de calor convectivo, com base na dinâmica de fluidos computacional (CFD), do inglês *Computational Fluid Dynamics*. Embora estudos de CFD tenham sido conduzidos em animais como suínos (LI; RONG; ZHANG, 2016) e frangos de corte (LI et al., 2016), essas análises geralmente são realizadas em túneis de vento virtuais. Portanto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a transferência de calor por convecção de bovinos leiteiros usando simulação computacional pelo método dos elementos finitos.

MATERIAL E MÉTODOS: O banco de dados utilizado foi obtido na Unidade de Pesquisa em Nutrição de Gado de Leite (UPNGL), localizada no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão, em Chapadinha, MA, Brasil (03°44'33" S, 43°21'21" W). Quatro bovinas adultas, mestiças de Holandês-Gir, com sete anos de idade e peso corporal médio de 550±25kg, foram selecionadas para o estudo. A temperatura do pelame dos animais foi coletada utilizando uma câmera termográfica de 4800 pixels (Fluke®, TiS10, Everett, WA, EUA). Além disso, características morfométricas dos animais (ex: comprimentos da região cefálica, corporal, perna, largura da cabeça e torácica), foram medidas utilizando uma trena. Os procedimentos foram realizados de acordo com as diretrizes do Comitê de Cuidados e Uso de Animais (Processo 23115.006751/2022-61). Dados meteorológicos da estação 82382 do INMET em Chapadinha foram utilizados. As simulações foram conduzidas utilizando o *software* ANSYS Fluent 15 (Ansys Inc.) e empregando o método Navier-Stokes (RANS) com média de Reynolds constante e o modelo k- ω . Para obter uma maior precisão na resolução do transporte na camada limite, utilizou-se o método de modelagem de baixo número de Reynolds (LRNM), conforme Iqbal et al. (2021). As malhas utilizadas foram compostas por células tetraédricas e prismáticas em todos os domínios computacionais, com maior densidade de células aplicada próxima ao animal virtual. No modelo virtual do animal, considerou-se uma espessura de gordura de 1 cm, área corporal de 6,10 m², temperatura do núcleo corporal de 39°C e emissividade da pele de 0,98. Neste estudo, utilizou-se uma alta condutividade para representar um caso limite. A pressão atmosférica adotada foi de 998,68 mB, com temperatura média do ar de 28,30°C, umidade relativa média de 71,14%, velocidade média do vento de 1,21 m/s e energia solar de ondas curtas de 6,8 kWh. Ao analisar os resultados do fluxo de convecção, foram apresentados apenas os valores do fluxo de calor perdido por convecção, isolando as demais formas de transmissão de calor. A condução térmica entre a vaca e o solo

foi considerada nula. Com base no Atlas Solar Brasileiro, a irradiação média em Chapadinha – MA é de 5,49 kWh/m²/dia. Considerando 12 horas de sol por dia e considerando metade da área corporal total do animal (equivalente a 3,05 m²), a irradiação média incidente na vaca leiteira foi estimada em 1395,4 W. Em geral, a transferência de calor por convecção (em W/K·m²) foi estimada para duas orientações em relação ao fluxo de ar: 0° e 30°.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O presente estudo demonstrou a viabilidade de estimar a perda de calor por convecção por meio de técnicas de simulação computacional. Essas descobertas têm implicações importantes para estudos futuros no campo da produção animal em regiões tropicais, permitindo a aplicação de abordagens computacionais no manejo ambiental de propriedades leiteiras. No geral, os resultados revelaram que a transferência média de calor por convecção foi de 523,196 W. Esses valores estão em concordância com os estimados por Maia et al. (2005) em um estudo envolvendo vacas holandesas em um ambiente tropical, usando modelos biofísicos (160 W/m²). Além disso, o presente estudo demonstrou que a perda de calor por convecção é influenciada pela orientação do animal no pasto. A transferência de calor por convecção no modelo virtual do animal, quando orientado a 0° e 30° em relação à direção do fluxo de ar, foi de 448.079 W e 598,313 W, respectivamente. Portanto, os resultados indicam um aumento de 33,52% na transferência de calor por convecção quando o animal está orientado a 30° em relação à direção do fluxo de ar. Esse resultado é uma consequência direta da aerodinâmica do corpo do animal. A Figura 1 ilustra que o fluxo de ar perde uma parte significativa de sua energia ao colidir com o animal orientado na direção do fluxo de ar. As linhas de corrente indicam que a cabeça e as patas dianteiras são as regiões onde ocorre uma intensidade maior de trocas de calor por convecção. Observa-se que, no caso do animal orientado a 30° em relação à direção do fluxo de ar, ocorre a formação de vórtices próximos ao corpo do animal, resultando em maior contato e maior intensidade de trocas de calor convectiva ao longo da região corporal (Figura 2).

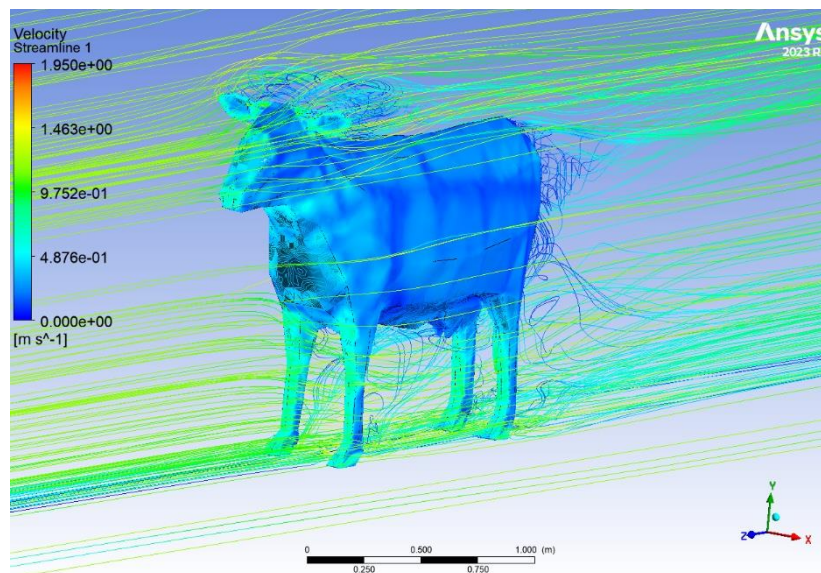


FIGURA 1. Linhas correntes do animal orientado na direção do fluxo de ar

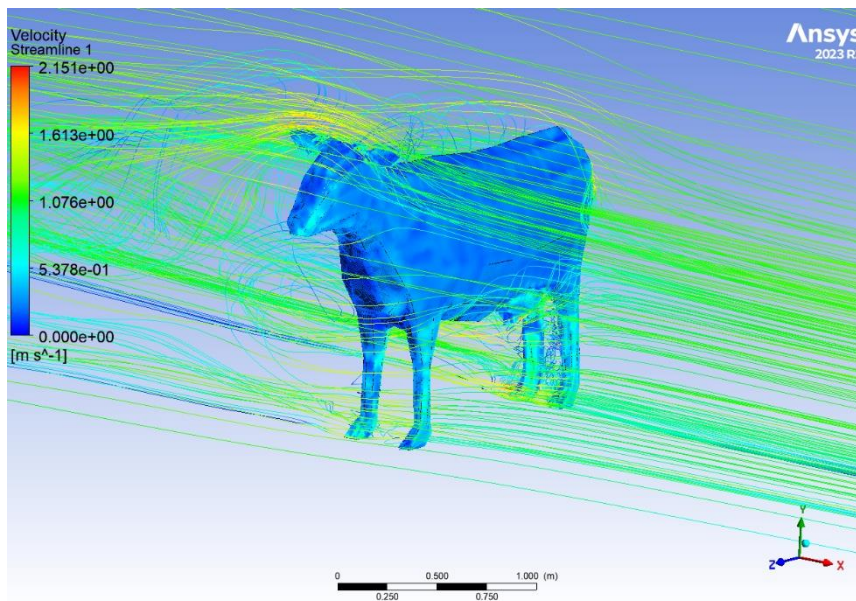


FIGURA 2. Linhas correntes do animal orientado a 30° na direção do fluxo de ar

CONCLUSÕES: Aplicando simulações computacionais pelo método dos elementos finitos, foi possível estimar a perda de calor por convecção. Assim, pode-se concluir que essa tecnologia pode auxiliar técnicos a quantificar a resposta ao estresse térmico em bovinos leiteiros, servindo assim como um mecanismo de suporte no manejo ambiental de propriedades leiteiras.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a FAPEMA – Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão.

REFERÊNCIAS:

- DAMASCENO, F. A. et al. 3D CFD Analysis of Natural Ventilation in Reduced Scale Model of Compost Bedded Pack Barn for Dairy Cows. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 10, n. 22, p. 1–17, 2020.
- IQBAL, A. et al. Modelling of animal occupied zones in CFD. *Biosystems Engineering*, v. 204, n. 2003, p. 181–197, 2021.
- Ji, B. et al. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosystems Engineering*, v. 199, p. 4–26, 2020.
- LI, H. et al. A numerical study on forced convective heat transfer of a chicken (model) in horizontal airflow. *Biosystems Engineering*, v. 150, p. 151–159, 2016.
- LI, H. et al. Study on convective heat transfer from pig models by CFD in a virtual wind tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 123, p. 203–210, 2016.
- MAIA et al. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 50, p. 17-22, 2005.
- SANTOS, F. L. et al. Modal properties of macaw palm fruit-rachilla system: An approach by the stochastic finite element method (SFEM). *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 184, n. April 2020, 2021