

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 22/02/2017.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESPIROMETRIA NA AVALIAÇÃO DO SISTEMA  
RESPIRATÓRIO DE RUMINANTES EM AMBIENTE  
TROPICAL**

**Carolina Cardoso Nagib Nascimento**

Médica Veterinária

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESPIROMETRIA NA AVALIAÇÃO DO SISTEMA  
RESPIRATÓRIO DE RUMINANTES EM AMBIENTE  
TROPICAL**

**Carolina Cardoso Nagib Nascimento**

**Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

2016

N244e Nascimento, Carolina Cardoso Nagib  
Espirometria na avaliação do sistema respiratório de ruminantes em ambiente tropical / Carolina Cardoso Nagib Nascimento. – Jaboticabal, 2016  
xiv, 80 p.: il. ; 28 cm

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Alex Sandro Campos Maia

Banca examinadora: Iran José Oliveira da Silva, Evaldo Antônio Lencioni Titto, Kênia Cardoso Bicego, Glauco de Souza Rolim

Bibliografia

1. Bovinos. 2. Caprinos. 3. Calorimetria Indireta. 4. Perda de Calor. 5. Sistema Respiratório. 6. Peso Corporal. I. Título. II. Jaboticabal – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.2/.3

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**CAROLINA CARDOSO NAGIB NASCIMENTO** – Nasceu no município de Uberlândia, Estado de Minas Gerais, no dia 12 de novembro de 1982. Em março de 2003 iniciou o curso de Graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Uberlândia, graduando-se em março de 2008. Em julho de 2009 iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias (mestrado), com área de concentração em Produção Animal e ênfase em Biometeorologia Animal pela Faculdade de Medicina Veterinária – FAMEV/UFU, submetendo-se à defesa da dissertação de mestrado em dezembro de 2011. Em março de 2012 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus Jaboticabal, também com ênfase em Biometeorologia Animal, durante o qual foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). No período de outubro de 2014 a junho de 2015 realizou estágio no Departamento de Clínica Veterinária e Zootecnia da Universidade de Copenhague, Dinamarca, como participante do Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sob supervisão da pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Anne-Helene Tausson.

Aos meus familiares e amigos que me apoiaram nesta jornada possibilitando a concretização deste trabalho dedico.

## Agradecimentos

A concretização desta tese foi feita não apenas pelas minhas mãos e sim pela ajuda de uma equipe e de pessoas que passaram e ainda estão presentes na minha vida pessoal e profissional, por isso gostaria de agradecer:

Ao meu orientador Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia pela orientação e auxílio na realização das coletas e confecção dos artigos oriundos desta tese;

Ao Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva pelos ensinamentos que mesmo os poucos momentos que estivemos juntos foram de grande importância para o meu crescimento, é um privilégio para mim conhece-lo;

Aos meus colegas do grupo INOBIO que dividiram comigo os animais dos experimentos, auxiliaram nas coletas e dividiram ótimas horas de convívio fora e dentro do laboratório;

A Dr<sup>a</sup> Maria da Graça e a equipe da Apta de Ribeirão Preto – SP pela ajuda e empréstimo dos animais Jersey que possibilitou a realização de parte dos meus dados;

Ao Prof. Marcos Chiquitelli Neto e a equipe do grupo MANERA da FEIS – UNESP Ilha Solteira, SP pelo condicionamento e empréstimo dos animais Guzerá que possibilitou a realização de parte dos meus dados;

A todos do setor de Caprinocultura pelo empréstimo das cabras Anglo Nubianas que possibilitou a realização de parte dos meus dados;

Ao colega de laboratório Bruno Simão pela confecção das figuras de forma magnífica, mesmo estando longe e em tratamento nunca deixou de me ajudar, sua garra e maneira como superou seus obstáculos em 2015 são dignos de admiração;

A minha amiga e colega de Laboratório Angela Arduino, que sempre se mostrou disposta a ajudar e fazer com que as burocracias de uma instituição pública ficasse mais “leve”;

Ao amigo Vinícius Fonseca por toda a ajuda neste trabalhos e em todos os outros que fizemos juntos, espero que nossa parceria se mantenha por muitos anos;

A todos os professores da FCAV – UNESP Jaboticabal, que eu conheci e tive o prazer de assistir suas disciplinas e adquirir conhecimento que levarei por toda a minha profissão;

Aos professores que participaram das minhas bancas de defesa de projeto, qualificação e defesa de tese e que se propuseram a ajudar e fazer com que esta tese ficasse cada vez melhor;

As agências de fomento Capes e Cnpq, por me proporcionarem auxílio financeiro durante o meu doutorado na UNESP campus Jaboticabal e também no meu doutorado sanduiche pelo PDSE – Capes na Universidade de Copenhague.



**SUMÁRIO**

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 Estrutura e função do sistema respiratório.....	4
3.2 Princípios físicos da mecânica de fluidos .....	11
3.3 Técnicas de mensuração respiratória.....	14
3.4 Tamanho corpóreo e funções fisiológicas.....	21
3.5 Transferência de calor e massa.....	22
3.6 Transferência de calor e massa no trato respiratório.....	26
3.7 Modelagem em tecidos biológicos.....	28
3.8 Modelagem do sistema respiratório.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
6. CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	75

**INSERIR CERTIFICADO COMITE DE ETICA**

## ESPIROMETRIA NA AVALIAÇÃO DO SISTEMA RESPIRATÓRIO DE RUMINANTES EM AMBIENTE TROPICAL

**RESUMO** – Objetivou-se a partir deste estudo avaliar a dinâmica das trocas térmicas ocorridas no trato respiratório de animais de interesse zootécnico (bovinos e caprinos), em ambiente tropical, utilizando a técnica de espirometria de fluxo contínuo com uso de máscara facial. Foram realizados quatro estudos de espirometria e calorimetria indireta com três raças da espécie bovina, Nelore, Guzerá e Jersey e uma da espécie caprina da raça Anglo-nubiana. A realização da espirometria e da calorimetria indireta foi feita por meio de uso de máscara facial ajustada ao focinho do animal. A produção de calor metabólico ( $q''_{MET}$ ), ventilação ( $V_E$ ), frequência respiratória ( $F_R$ ), volume respiratório corrente ( $V_{RC}$ ) e produção e consumo de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ) e  $O_2$  ( $VO_2$ ), respectivamente, foram mensuradas simultaneamente, além das trocas de calor do animal por evaporação e convecção pelo trato respiratório com o meio ambiente. Avaliações de espirometria e calorimetria indireta com utilização de máscara facial em animais de produção em ambiente natural mostraram-se eficientes para as espécies estudadas uma função não linear entre  $V_{RC}$ ,  $V_E$ ,  $VO_2$  e  $F_R$  por unidade de peso e peso corporal foi encontrada; animais de menor peso corporal apresentam maiores  $V_{RC}$ ,  $V_E$ ,  $VO_2$  e  $F_R$  e conseqüentemente uma maior produção de calor metabólico por unidade de peso corporal do que animais maiores. Em faixas de temperatura do ar de 22 a 36 °C os animais Guzerá, Nelore, Jersey e Anglo Nubianas não tem um aumento significativo nas funções respiratórias porém, o volume de  $CH_4$  apresenta uma relação inversa com o aumento da temperatura do ar. As perdas de calor pelo trato respiratório por evaporação aumentaram com o aumento da temperatura do ar, sendo essa a principal via de perda de calor no trato respiratório. Modelos de regressão apresentados para estimar a evaporação respiratória em bovinos da raça Guzerá, Nelore, Jersey e caprino da raça Anglo Nubiana utilizando parâmetros ambientais e fisiológicos se mostraram bem eficientes nestas condições.

**Palavras-chave:** bovinos, caprinos, calorimetria indireta, perda de calor, sistema respiratório, peso corporal.

## EVALUATION OF RESPIRATORY TRACT USING SPIROMETRY METHODS IN RUMINANTS IN TROPICAL ENVIRONMENT

**ABSTRACT** – In order to study the respiratory physiology and the dynamics of the heat exchange occurred in the respiratory tract of livestock interest of animals in tropical environment using a continuous flow of spirometry technique with use of facial mask. Four studies of spirometry and indirect calorimetry were performed in two species of livestock interest animals, and these three races of bovine animals, Nellore, Guzerat and Jersey and a goats Anglo-Nubian breed. The spirometry and indirect calorimetry was performed by use of the face mask adjust to the animal's muzzle. The metabolic heat production ( $q''_{MET}$ ), ventilation ( $V_E$ ), respiratory rate ( $R_R$ ), tidal volume ( $V_T$ ) and production and consumption of  $CO_2$  ( $V_{CO_2}$ ) and  $O_2$  ( $VO_2$ ), respectively, were measured simultaneously, as well of the animal's heat exchange by convection and by evaporation with the respiratory tract environment. Spirometry and indirect calorimetry techniques with use of facial masks in livestock animals in a natural environment were effective for the species studied. A nonlinear function between  $V_{RC}$ ,  $V_E$ ,  $VO_2$  and  $F_R$  per unit weight as function of body weight was found and the lighter animals had a higher  $V_{RC}$ ,  $V_E$ ,  $VO_2$  and  $F_R$  and thus greater metabolic heat production per unit weight than largest animals. In air temperature between 22-36 °C the Guzerat, Nellore, Jersey and Anglo Nubian has no significant increase respiratory function, but the volume of  $CH_4$  has an inverse relation with air temperature. Also heat losses the respiratory tract by evaporation increased with increasing air temperature, and this is the main heat loss through the respiratory tract. Regression models presented to estimate the respiratory evaporation in cattle Guzerat, Nellore, Jersey and the Anglo Nubian goat using environmental and physiological parameters were well efficient in these conditions.

**Keywords:** body weight, cattle, goats, indirect calorimetry, heat loss, respiratory system.

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<p><b>Tabela 1.</b> Média, valores mínimos e máximos da temperatura do ar (<math>T_A</math>, °C), pressão de vapor (<math>P_V</math>, kPa), umidade relativa (<math>U_r</math>, %) , temperatura radiante média (<math>T_{RM}</math>, °C) e radiação solar (<math>R_s</math>, <math>W\ m^{-2}</math>) observada durante os experimentos.....</p>	50
<p><b>Tabela 2.</b> Média geral (<math>\pm</math> erro padrão), valores mínimos e máximos do peso corporal (<math>B_W</math>, kg), Ventilação (<math>V_E</math>, <math>L\ s^{-1}</math>), frequência respiratória (<math>F_R</math>, resp.min<sup>-2</sup>), volume respiratório corrente (<math>V_{RC}</math>, L.resp<sup>-1</sup>), volume de <math>O_2</math> consumido (<math>VO_2</math>, <math>L\ h^{-1}\ animal^{-1}</math>), volume de <math>CO_2</math> produzido (<math>VCO_2</math>, <math>L\ h^{-1}\ animal^{-1}</math>), produção de calor metabólico (<math>q''_{met}</math>, <math>W.m^{-2}</math>) durante os experimentos.....</p>	54
<p><b>Tabela 3.</b> Média geral (<math>\pm</math> erro padrão), valores mínimos e máximos da temperatura do ar expirado (<math>T_{EXP}</math>, °C), ventilação (<math>V_E</math>, <math>L\ s^{-1}</math>), frequência respiratória (<math>F_R</math>, resp.min<sup>-2</sup>), pressão de vapor do ar expirado (<math>P_{EXP}</math>, KPa), evaporação respiratória (<math>q_{ER}</math>, <math>W\ m^{-2}</math>), convecção respiratório (<math>q_{CR}</math>, <math>W\ m^{-2}</math>), produção de calor metabólico (<math>q''_{met}</math>, <math>W.m^{-2}</math>) durante os quatro experimentos.....</p>	67

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Corte axial da traqueia (GETTY, 1986).....	5
Figura 2. Diagrama mostrando excursões respiratórias durante respiração normal e durante a inspiração máxima e expiração máxima (GUYTON, 2006).....	10
Figura 3. Pneumotacografia em anfíbios .....	15
Figura 4. Pletismografia realizada em sistema fechado em roedores.....	16
Figura 5. Utilização de bocal para espirômetro e clipe nasal (A) e máscara facial (B) para realização de espirometria.....	19
Figura 6. Taxas de consumo de oxigênio de vários mamíferos (SHIMIDT-NIELSEN, 2002).....	21
Figura 7. Perfil de velocidade ( $\delta_f$ ) e de temperatura ( $\delta_t$ ) na camada limite com Prandtl ( $Pr$ ) $> 1$ e $Pr < 1$ . (GOU et al., 1997).....	25
Figura 8. Representação esquemática do Sistema de Medidas Fisiológicas do Laboratório de Bioclimatologia em bovinos de corte (A), caprinos (B) e bovinos de leite (C).	39
Figura 9. Animais durante as coletas de dados com Sistema de medidas fisiológicas do Laboratório de Bioclimatologia Animal.....	40
Figura 10. Animal usando a máscara facial do Sistema de medidas fisiológicas do Laboratório de Bioclimatologia Animal.....	41
Figura 11. Animais durante o condicionamento da máscara.....	43
Figura 12. Média dos quadrados mínimos da temperatura do ar ( $T_A$ , °C), umidade relativa ( $U_R$ , %), radiação solar ( $R_S$ , $W$ $m^{-2}$ ) e temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) de acordo com as horas do dia (graus decimal) nos quatro experimentos.....	51
Figura 13. Ventilação ( $V_E$ , $L s^{-1}$ ) em função do peso corporal ( $B_W$ , kg) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	55

Figura 14. Volume respiratório corrente ( $V_{RC}$ , L resp <sup>-1</sup> ) em função do peso corporal ( $B_W$ , kg) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	56
Figura 15. Volume respiratório corrente por unidade de peso corporal ( $V_{RCp}$ , L resp. <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ) em relação ao peso corporal ( $B_W$ , kg) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	57
Figura 16. Frequência respiratória por unidade de peso corporal ( $F_{Rp}$ , resp min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ) em relação ao peso corporal ( $B_W$ , kg) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	58
Figura 17. Proporção de O <sub>2</sub> expirado por unidade de peso corporal ( $P_pO_{2p}$ , % kg <sup>-1</sup> ) em relação ao peso corporal ( $B_W$ , kg) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	59
Figura 18. Ventilação respiratória ( $V_E$ , Ls <sup>-1</sup> ) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	60
Figura 19. Volume respiratório corrente ( $V_{RC}$ , resp min <sup>-1</sup> ) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	62
Figure 20. Frequência respiratória ( $F_R$ , resp min <sup>-1</sup> ) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	63
Figura 21. Volume de O <sub>2</sub> produzido ( $VO_2$ , L h <sup>-1</sup> animal <sup>-1</sup> ), volume de CO <sub>2</sub> consumido ( $VCO_2$ , L h <sup>-1</sup> animal <sup>-1</sup> ) e volume de CH <sub>4</sub> consumido ( $VCH_4$ , L h <sup>-1</sup> animal <sup>-1</sup> ) em relação à temperatura do ar ( $T_A$ , °C) de bovinos das raças Nelore,	64

Guzerá e Jersey e caprinos da raça Anglo Nubiana.....	
Figura 22. Produção de calor metabólico ( $q''_{met}$ , $W m^{-2}$ ) em relação a temperatura do ar ( $T_A$ , °C) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos Anglo Nubiana.....	65
Figura 23. Média por quadrados mínimos da evaporação respiratória ( $q''_{ER}$ , $W m^{-2}$ ) e convecção respiratória ( $q''_{CR}$ , $W m^{-2}$ ) em relação a temperatura do ar ( $T_A$ , °C) de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos Anglo Nubiana.....	68
Figura 24. Gradiente de temperatura ( $\Delta T$ , °C) em relação a hora do dia nos experimentos de bovinos das raças Nelore, Guzerá e Jersey e caprinos Anglo Nubiana.....	69
Figura 25. Evaporação respiratória ( $q''_{er}$ , $W m^{-2}$ ) em relação à temperatura do ar de bovinos da raça Guzerá.....	70
Figura 26. Evaporação respiratória ( $q''_{er}$ , $W m^{-2}$ ) em relação à temperatura do ar (°C) de bovinos da raça Nelore.....	71
Figura 27. Evaporação respiratória ( $q''_{er}$ , $W m^{-2}$ ) em relação à temperatura do ar de vacas da raça Jersey.....	72
Figura 28. Evaporação respiratória ( $q''_{er}$ , $W m^{-2}$ ) em relação à temperatura do ar de caprinos da raça Anglo Nubiana.....	73



## 1. INTRODUÇÃO

Entender as trocas térmicas no sistema respiratório entre o animal e o ambiente tem sido o foco de vários estudos (McDowel, et al.1973; Maia et al. 2005; Robertshaw, 2006). Compreender esta dinâmica nos animais de produção dentro do seu ambiente natural de criação, sem controlar as alterações meteorológicas ocorridas ao longo do dia é de grande importância em estudos de termorregulação e equilíbrio térmico.

O estudo da fisiologia da respiração tem como base explicar diversos processos biológicos, entre eles a ventilação, trocas gasosas e a dissipação de calor e massa, que vem sendo discutidos em pesquisas na medicina veterinária e na aplicação de processos termodinâmicos nos seres vivos (Krog, 1916; Walker et al., 1961; Ferrannini, 1988; Diener, 1997). Nestes estudos, a partir de testes espirométricos, o volume respiratório corrente, frequência respiratória, ventilação-minuto, concentrações de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> do ar inspirado e expirado, têm-se avaliado o desempenho produtivo e tolerância ao calor dos animais de interesse zootécnico (Costa e Jamini, 2001; Miller et al., 2005; Watanabe,2009).

A espirometria é um método indireto amplamente aceito para medir as taxas metabólicas, especialmente em insetos, pássaros e mamíferos (Kristín e Gvoždík, 2012), além de possibilitar conhecer os volumes respiratórios e sua relação com outras variáveis fisiológicas e ambientais. Alguns trabalhos têm mostrado um aumento da atividade respiratória sob condições de estresse por calor e consequentemente, aumento no fluxo de ar através das vias respiratórias, diminuição na taxa de remoção alveolar do O<sub>2</sub> e aumento na liberação de CO<sub>2</sub> (McDowel et al. 1973; Maia et al. 2015; Finch et al.1980).

Juntamente com os estudos de espirometria, a modelagem matemática e seus conceitos físicos, que sempre foram amplamente utilizados na área de engenharia como ferramenta para demonstrar o funcionamento de máquinas e equipamentos, começaram a ser mais aplicadas no início do século XX, com a utilização desses modelos para a representação de sistemas biológicos como, por exemplo, o desenvolvimento da equação de biocalor proposta por Pennes (1948).

Modelagem de sistemas térmicos e sistema respiratório em humanos estão se tornando cada vez mais próximos da realidade biológica como nos modelos desenvolvidos por Wissler (1961), Ferreira e Yanagihara (2009) para sistemas térmicos e Hanna (1983), Albuquerque-Neto, Yanagihara e Turri (2009), Albuquerque-Neto (2010) para sistemas respiratórios. Alguns modelos de transferência de calor pelo trato respiratório descrevem que o ar é expirado numa temperatura igual a temperatura corporal profunda (McARTHUR, 1987). Entretanto, durante a expiração, as superfícies do trato respiratório superior, antes resfriadas por evaporação e convecção no momento da inspiração, resfria o ar que deixa a região alveolar com temperatura igual a corporal, fazendo com que a umidade ali se condense. Assim, o ar é exalado completamente saturado à uma temperatura menor que a corporal profunda (SILVA, 2000).

A taxa total da perda de calor pela respiração é dependente do fluxo respiratório e da temperatura e umidade do ar inspirado, sendo a temperatura do ar o principal fator na troca de calor no sistema respiratório (WISSLER, 1964; STEVENS, 1981; da SILVA et al., 2002; MAIA et al., 2005). Outros fatores importantes para estas trocas térmicas são a taxa de ventilação por minuto, a temperatura das vias aéreas, alterações vasomotoras e na membrana da mucosa (CRAMER,1957). Contudo, a perda de calor através da respiração pode ser minimizada pela geometria das vias aéreas, o fluxo e refluxo padrão de movimento do ar através das mesmas e a capacidade calorífica baixa do ar (GRAHN e HELLER, 1997).

As pesquisas sobre os aspectos termodinâmicos do trato respiratório em mamíferos têm sido conduzidas com animais anestesiados (Mitchell et al., 1972), em ambiente controlado (Findlay, 1957) ou utilizando máscaras faciais ventiladas por um período curto de tempo (Young, 1975). Com isso, faz-se necessário suprir a pouca informação detalhada sobre as respostas respiratórias em ruminantes nas condições naturais em ambiente tropical e suas relações com o meio ambiente.

## 6. CONCLUSÃO

- Avaliações de espirometria e calorimetria indireta com utilização de máscara facial em animais de produção em ambiente não controlado mostra-se eficientes para as espécies estudadas;
- Relação entre peso e variáveis fisiológicas de animais da família Bovidae mostra-se em uma função alométrica para frequência respiratória e porcentagem de O<sub>2</sub> expirado;
- Modelos de regressão apresentados para estimar a evaporação respiratória em bovinos da raça Guzerá, Nelore, Jersey e caprino da raça Anglo Nubiana utilizando parâmetros ambientais e fisiológicos se mostra bem eficientes nestas condições;
- O conhecimento das funções fisiológicas como frequência respiratória, volume respiratório corrente, ventilação e trocas gasosas como também uma avaliação das trocas térmicas ocorridas no trato respiratório em animais submetidos as variações naturais do ambiente de criação de animais de ruminantes possibilita o desenvolvimento de biossensores como ferramenta para otimização e controle de ambiente térmico na produção animal

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUEQUE-NETO, C. Modelo Integrado dos Sistemas Térmico e Respiratório do Corpo Humano. **(Tese)**. São Paulo- SP. 2010.

AL-TAMINI H.J. Thermoregulatory response of goat kids subjected to heat stress. **Small Ruminant Research** v.71, p.280-285, 2007.

BERMAN, A. Extending the potencial of evaporative cooling for heat stress relief. **J. Dairy Sci.** v89, p.3817-3825, 2006.

BRASIL, L.H.A. et al., Efeitos do Estresse Térmico Sobre a Produção, Composição Química do Leite e Respostas Termorreguladoras de Cabras da Raça Alpina. **Rev. Bras. Zootec.**, 29(6):1632-1641, 2000.

BROCKWAY JM, MCDONALD JD, PULLAR JD (1965) Evaporative heat-loss mechanisms in sheep. **J Physiol (London)** 179:554-568

COLE, G.W.; SCOTT, N.R. A mathematical model of the dynamic heat transfer from the respiratory tract of a chicken. **Bulletin of Mathematical Biology** volume 39, 1977.

COLLINS, J.C., PILKINGTON, T.C., SCHIMIT-NIELSEN, K. A model of respiratory heat transfer in a small mammal. **Biophys. J.** v.11, p. 886-914, 1971.

COSTA D, JAMINI M. (2001) Bases fundamentais da espirometria. **Rev. bras. fisioter.** 5:95-102

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. Transferência de calor e massa – uma abordagem prática. MCGRAW-HILL BRASIL, 3 ed. 906 pag., 2009.

Da SILVA, R.G.; LaSCALA, N. JR.; LIMA FILHO, A.E.; CATHARIN, M.C. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **Int J. Biometeorology** 46:136-140, 2002.

Da SILVA RG; STARLING JMC (2003) Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambientes [Cutaneous and respiratory evaporation in sheep at high ambient temperatures]. **Brazil J Animal Science** 32:1956-1961

Da SILVA, R.G., CAMPOS MAIA, A.S. **Principles of Animal Biometeorology** (2013). Brasil Ed.Springer. DOI 10.1007/978-94-007-5733-2, Volume 2, 261 pg.

DITTUS, P.W.; BOELTER, L.M.K. Heat transfer in automobile radiators of the tubular type. **Int Comm Heat Mass Transfer** 12:3-22, 1985.

Diener, J.R.C. Calorimetria indireta. **Rev. Assoc. Med. Bras.** 43:245-253, 1997.

ENRIGHT, P.L.; JOHNSON L.R.; CONNETT J.E., HELEN VOELKER, H.; A. SONIA BUIST, A.S. Spirometry in the Lung Health Study: 1. Methods and Quality Control **Am Rev Respir Dis.** 1ª ed. December 17, 2012 as doi:10.1164/ajrccm/143.6.1215

FERRUS, L.; GUENARD, H.; VARDON, G.; VARENE, P. Respiratory water loss. **Respiration Physiology** (1980) 39, 367-381 Elsevier/North-Holland Biomedical Press

FERRANNINI, E. (1988) **The Theoretical Bases of Indirect Calorimetry: A Review.** Grune & Stratton, Inc.

Finch, V.A.; Dmiel, R.; Boxman, R.; Shkolnik, A.; Taylor, C.R. Why black goats in hot deserts? Effects of coat color on heat exchanges of wild and domestic goats. **Physiol Zool** 53:19–25, 1980.

FINCH, V.A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Aust J Agric Res** 36:497-508, 1985

Findlay, J.D. The respiratory activity of calves subjected to thermal stress. **J. Physiol.** 1: 300-309, 1957.

FIOROT, D., FARIA, A.C.D.; NASCIMENTO, P.S.; LOPES, A.J.; JANSEN, J.M.; MELO, P.L. Validação do uso da técnica de oscilações forçadas no diagnóstico da doença pulmonar obstrutiva crônica IFMBE Proceedings ... **IV Latin American Congress on Biomedical Engineering** 2008, Bioengineering Solutions for Latin America Health

LITTELL, R.C.; FREUND, R.J. (1991) **SAS System for Regression.** SAS Institute, Inc.

GANONG, W.F. **Review of Medical Physiology** (1983) 11ª Ed. Lange Medical Publications. Los Altos, California EUA.

GETTY, R. **Anatomia dos Animais Domésticos.** (1986) 5ª ed. Guanabara – Koogan. Rio de Janeiro. ISBN 978-8-527-71438-9

GUYTON, A.C. **Medical Physiology** (2006). 11ª Ed. Elsevier. Philadelphia, Pennsylvania. ISBN 0-7216-0240-1

GNIELINSKI, V (1976) New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. **Ind Chem Eng** 16:359-368

HALLIDAY, D.; WALKER J. RESNICK, R. **Fundamentos de Física 2 - Gravitação, Ondas, Termodinâmica** (2012) , 8ª Ed. P. 352 LTC.

HAMMARLUND K, RIESENFELD T, SEDIN G (1986) Measurement of respiratory water loss in newborn lambs. *Acta Physiol Scand* 127:61-65

HANNA, L.M. Modelling of heat and water vapor transport in the human respiratory tract. Tese. Universidade da Pensylvania. USA . 1983.

HALES, J.R.S.;WEBSTER,M.E.D. Respiratory function during thermal tachypnoea in sheep. **J. Physiology**, 190:241-260, (1967).

HARVEY, W.R. (1960) **Least-squares analysis of data with unequal subclass numbers**. Beltaville: USDA

HOFMEYR HS, GUIDRY AJ, WALTZ FA (1969) Effects of temperature and wool length on surface and respiratory evaporative losses of sheep. *J Applied Physiol* 26:517-523

HOPPELER, H.; WEIBEL, E.R. Scaling functions to body size: theories and facts. **The journal of Experimental Biology**, 208:1573-1574, 2005.

INCROPERA, F.P. et al. (2012) **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Ed. LTC, Rio de Janeiro, RJ. p. 642.

INGENITO, E.P; SOLWAY J.,; MCFADDEN E. R.; PICHURKO B. M.; CRAVALHO E.G.; DRAZEN, J.M. Finite difference analysis of respiratory heat transfer. **American Physiological Society**. 1986 DOI 0161-7567/86.

JAMES A.; MCNAMARA JR. (1981) Influence of Respiratory Pattern On Craniofacial Growth. **The Angle Orthodontist**: October 1981, Vol. 51, No. 4, pp. 269-300.

KLEIBER M (1947) Body Size and Metabolic Rate. In: **Physiological Reviews** 27: 511-541

KRISTÍN,P., GVOŽDÍK. L. Influence of respirometry methods on intraspecific variation in standard metabolic rates in newts. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A, 2012.

KROG A (1916) **The respiratory exchange of animals and man**. LONGMANS, GREEN AND CO. LONDON

LEITH, D.E. Mammalian tracheal dimensions: scaling and physiology. **J Applied Physiol** 55:196-200, 1982.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v.49, n.5, pg. 332-336, 2005.

MAIA, A.S.C. et al.(2015) Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **Int J Biometeorol**. DOI 10.1007/s00484-014-0916-3.

McARTHUR, A.J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **J Theor Biol** 126:203-238, 1987.

McDOWELL, R.E. et al. (1953.) Respiratory activity as an index of heat tolerance in Jersey and Sindhi x Jersey(F1) crossbreed cows.

McMANUS, C. et al. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. *Livestock Science* 120:256-264, 2009.

McLEAN, J.A. The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions. *J Physiol (London)* 167:427-447, 1963

MORTOLA, J.P.; LANTHIER, C. Breathing frequency in ruminants: a comparative analysis with non-ruminant mammals **Respiratory Physiology & Neurobiology** 145 (2005) 265–277

MITCHELL B et al. Relationship between body weight and tidal volume during general anaesthesia in sheep, cattle, pigs and horses. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**. 3:56–60, 1972.

MUNSON, B.R. (2004) **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. 4ªEd São Paulo: Edgard Bluncher. São Paulo – SP ISBN:85-212-0343-8.

MURRISH, D.E. Respiratory heat and water exchange in Pinguins. **Respiratory Physiology**. V.19, p 262-270, North-Holland Publish Company, Amsterda. 1973.

NASCIMENTO, S.T. **Modelagem do equilíbrio térmico de frangos de corte: um estudo da geração e transferência de calor**. Tese (doutorado)- Universidade Estadual Paulista, UNESP Jaboticabal, SP, 2015.

NIELSEN, K.S. **Fisiologia Animal**. (2002), 5ª ed. Ed. Santos.

NUSSELT W (1931) Der Wärmetausch zwischen Wand and Wasser in Rohrer. **Forsch Geb Ingenieurwes** 2:309-312

PAULILO, G.; TEIXEIRA, M.D. Capítulo II Harmônicos – conceitos **O setor elétrico**, Ed 85 Atitude Editora, fev. São Paulo – SP 2013.

PENNES, H. H. Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm. **Jour. Appl. Physiol.**, v. 1, p.93-122, 1948.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K.S.(2002) **Física 3**, 5ª Edição, LTC Editora, Rio de Janeiro.

ROBERTSHAW, D. Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. **J. Appl. Physiol.** 101: 664-668, 2006.

SAS Institute (1995) **User's guide: Statistics**, Version 6,10 edition. SAS Institute Inc, Cary, NC

SCHIMIDT-NIELSEN K (2010) **Animal Physiology: adaptation and environment**. Cambridge University, London.

SIEDER, E.N.; Tate, E.G. (1936) Heat transfer and pressure drop of liquids in tubes. **Ind Eng Chem** 28:1429

SOBOTTA, J. **Atlas de Anatomia Humana** (2013) - Vol.2 - 23ª Ed. Guanabara – Koogan. Rio de Janeiro.

SILVA, R.G. (2000) **Introdução à biometeorologia**. São Paulo: Nobel, 286p.

SPURK, J.H.; AKSEL, N. (2008) **Fluid Mechanics**. 2ªEd. Springer; New York – NY. e-ISBN 978-3-540-73537-3.

STEVENS DG (1981) A model of respiratory vapour loss in Holstein dairy cattle. Transactions of the ASAE 24:151-158

SVERDLOVA NS, LAMBERTZ M, WITZEL U, PERRY SF (2012) Boundary Conditions for Heat Transfer and Evaporative Cooling in the Trachea and Air Sac System of the Domestic Fowl: A Two-Dimensional CFD Analysis. **PLoS ONE** 7(9): e45315. doi:10.1371/journal.pone.0045315

TENNEY WM, BARTLETT D JR (1967) Comparative quantitative morphology of the mammalian lung: trachea. **Respiratory Physiol** 3:130-135

TURNER HG, THORNTON RF (1966) A respiration chamber for cattle. **Proc Australian Soc Animal Production** 6:413-419



TSU, M.E; BABB,A.L; RALPH, D.D; HLASTALA, M.P. Dynamics of heat, water, and soluble gas exchange in the human airways: a model study. **Annals of Biomedical Engineering**, Vol. 16, pp. 547-571, 1988.

WATANABE M J (2007) Avaliação espirométrica de cavalos da raça Puro Sangue Árabe durante teste padrão de exercício progressivo em esteira. Dissertation, São Paulo University

WALKER JEC, Wells RE, Merrill EW (1961) Heat and Water Exchange in the Respiratory Tract. **Am. J. Med.** 30:259-67

WISSLER, E.H. Steady-State Temperature Distribution in Man. **Jour. Appl. Physiol.**, 16, 734-740, 1961.

WYLEN, V.; GORDON, J. (1995). **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** 4ªEd.

YOUNG BA (1975) Temperature induced changes in metabolism and body weight of cattle (*Bos taurus*). **Can J Physiol Pharmacol** 53:947-953

ZEUTHEN E (1953) Oxygen uptake as related to body size in organism. In: **The quarterly Review of Biology.** 28:1-12