

## Evaporação Cutânea e Respiratória em Ovinos sob Altas Temperaturas Ambientais

Roberto Gomes da Silva<sup>1</sup>, Josiane M. Cardoso Starling<sup>2</sup>

**RESUMO** - Dez ovinos da raça Corriedale foram avaliados para as taxas de evaporação respiratória ( $E_R$ ) e cutânea ( $E_C$ ). Cada animal foi observado até 10 vezes, sob diferentes condições de temperatura (21,1 a 41,9°C) e pressão parcial de vapor do ar (1,53 a 3,01 kPa), usando um método gravimétrico para determinar a perda de água. As médias totais foram  $0,7599 \pm 0,0094 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  para  $E_R$  e  $1,3029 \pm 0,0591 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  para  $E_C$ . A evaporação cutânea foi considerada como um fator importante de termólise para ovinos em ambientes quentes. São discutidos os efeitos do sexo, da espessura do velo e da temperatura e umidade do ar.

Palavras-chave: evaporação respiratória, evaporação cutânea, ovinos, termorregulação

## Cutaneous and Respiratory Evaporation Rates of Sheep in Hot Environments

**ABSTRACT** - Ten adult Corriedale sheep were evaluated for respiratory ( $E_R$ ) and cutaneous ( $E_C$ ) evaporation rates. The animals were observed about 10 times each by recording changes in their live weight with high-sensitivity strain gauges, under different conditions of air temperature (21.1 to 41.9°C) and partial vapour pressure (1.53 to 3.01 kPa). Average evaporation rates were  $0.7599 \pm 0.0094 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  for  $E_R$  and  $1.3029 \pm 0.0591 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  for  $E_C$ . Cutaneous evaporation was considered as an important heat loss mechanism for sheep in hot environments. There were discussed the effects of sex, fleece thickness, air temperature, and air humidity.

Key Words: cutaneous evaporation, heat loss, respiratory evaporation, sheep

### Introdução

Nos ambientes tropicais, a temperatura do ar tende a ser próxima da ou maior que a corporal, o que torna ineficazes os mecanismos de transferência térmica por condução e convecção. Em adição, a carga térmica radiante é frequentemente muito elevada, de modo que a superfície corporal dos animais tende a apresentar temperaturas bastante altas, dependendo da natureza dessa superfície. No caso de ovinos expostos ao sol, têm sido observadas temperaturas de até 90°C. Em consequência, a evaporação torna-se o mecanismo de termólise mais eficaz nesses ambientes, por não depender do diferencial de temperatura entre o organismo e a atmosfera. De fato, as perdas térmicas por evaporação em ovinos sob estresse de calor podem atingir  $90 \text{ W.m}^{-2}$  (Monteith & Unsworth 1990).

As evidências encontradas na literatura acerca da importância relativa da evaporação respiratória e da cutânea nos ovinos são conflitantes. Alguns autores mais antigos (Rieck 1950; Knapp & Robinson, 1954; Brook & Short, 1960 a,b) afirmam que, sob altas temperaturas (30 a 40°C), a evaporação cutânea

chega a ser até três vezes mais intensa que a respiratória. Outros supõem que a evaporação respiratória seja mais importante (Alexander & Williams, 1962; Hofmeyr et al., 1969; Hales, 1974).

É sabido que os ovinos possuem glândulas sudoríparas do tipo apócrino, associadas aos folículos pilosos primários de lã (Bligh, 1961; Robertshaw, 1966) e alguns autores, como Brook & Short (1960a,b) e Alexander & Williams (1962), determinaram altas taxas de sudação em animais tosquiados mantidos a 40°C. Silva et al. (1990) observaram animais da raça Ideal sob temperaturas entre 25 e 46°C, determinando uma taxa de sudação média de  $90,5 \pm 5,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ . Por outro lado, foi sugerido por Brockway et al. (1965) que, em animais cobertos de velo espesso submetidos a altas temperaturas em calorímetros, as perdas térmicas por evaporação respiratória seriam mais importantes que as cutâneas, alcançando  $0,84 \text{ W.kg}^{-1}$  a 30°C. Hofmeyr et al. (1969) observaram que em ovinos não tosquiados expostos por duas horas a 38°C a evaporação respiratória constituía 65% da perda evaporativa total.

Deve ser ainda notada a variedade de unidades de medida adotadas pelos diferentes autores, alguns

<sup>1</sup> Professor Titular, Departamento de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP. 14884-900 Jaboticabal, SP. E-mail: rgomes@fcav.unesp.br

<sup>2</sup> Professora Assistente Doutora, Faculdade de Veterinária, Universidade de Franca, Franca, SP. E-mail: barbante@fcav.unesp.br

se referindo à área de superfície corporal e outros ao peso corporal. Essas diferenças dificultam bastante a comparação dos dados da literatura.

O propósito do presente trabalho é investigar a importância relativa da evaporação cutânea e da evaporação respiratória para ovinos de uma raça originária de climas temperado e criados em uma região intertropical.

### Material e Métodos

Foram utilizados dez animais adultos da raça Corriedale, sendo sete machos e três fêmeas, pesando entre 59,8 e 97,1 kg, os quais não foram tosquiados antes nem durante as observações.

Para a determinação da evaporação total, foi empregado o sistema de pesagem de precisão WM-204 (Scale-Tronix, Inc., White Plains, NY, USA), associado a uma gaiola metálica para contenção do animal sob medição. Este sistema consiste basicamente em quatro transdutores de pressão do tipo strain gauge, colocados sob um suporte onde se achava a gaiola, sendo conectados a uma unidade central computadorizada que registra continuamente as alterações no peso do indivíduo, com uma sensibilidade de 10 g. A capacidade do sistema atinge cerca de 500 kg. Esse equipamento é o mesmo empregado por outros pesquisadores (Holmes, 1985; Finch, 1985) para a determinação da taxa total de evaporação em bovinos.

O piso da gaiola era composto por uma placa de aço perfurada, através da qual as fezes e a urina podiam passar livremente, sendo colhidas em uma bandeja com óleo colocada embaixo. A função do óleo era impedir a evaporação da água dos dejetos durante a operação, evitando alterações indevidas no peso. O sistema completo era instalado no interior de uma câmara climática, na qual a temperatura variava entre 21,1 e 41,9°C e a pressão parcial de vapor entre 1,53 e 3,01 kPa, conforme o dia.

Em cada sessão de observação, um animal era colocado na gaiola durante duas horas, sendo seu peso monitorado continuamente pelo dispositivo; ao término desse tempo, anotava-se a perda total de peso. Antes e depois desse processo eram tomadas a temperatura retal e a frequência respiratória, anotando-se as respectivas médias. Foram feitas até 10 observações sucessivas em cada animal, num total de 81 observações nos meses de Setembro e Outubro, com um intervalo mínimo de uma semana entre as determinações em um mesmo animal.

Para determinação da evaporação respiratória, foi utilizado o método desenvolvido por Silva et al. (2002):

$$E_R = 60 v F \Psi W^{-1} \quad [1]$$

(g.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>), em que  $v = 0,0496F - 1,1557$  é o volume respiratório corrente (m<sup>3</sup> de ar por respiração);  $F$ , a frequência respiratória (min<sup>-1</sup>);  $W$ , o peso corporal (kg) e

$$\Psi = \frac{10^6 M e\{T_E\}}{RT_E} \quad [2]$$

(g.m<sup>-3</sup>) é a umidade absoluta do ar expirado;  $M$  é o peso molecular da água (18,016 g.mol<sup>-1</sup>),  $R$  é a constante gasosa universal (8,3143 J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) e  $e\{T_E\}$  é a pressão de saturação de vapor do ar expirado à temperatura  $T_E$  (K). Esta temperatura foi estimada como função da temperatura e da umidade do ar ambiente e da temperatura corporal dos animais, sendo usada a equação de Silva et al. (2002):

$$T_E = -142,6193 + 0,2891T_A + 2,5865 e\{T_A\} + 7,3525 T_B - 0,0016 T_A^2 - 0,2027 e^2\{T_A\} - 0,0797 T_B^2 \quad [3]$$

(°C), com elevado coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,964$ ), em que  $e\{T_A\}$  é a pressão parcial de vapor da atmosfera à temperatura  $T_A$  (°C) e  $T_B$ , a temperatura retal (°C).

A taxa de evaporação cutânea (EC) foi estimada como a diferença entre  $E_R$  e a evaporação total. Os dados foram analisados pelo método dos mínimos quadrados para dados não balanceados, usando-se o modelo:

$$y_{ijk} = m + s_i + a_{ij} + e_k + e_{ijk} \quad [4]$$

em que:  $s_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo sexo ( $i=1,2$ ),  $a_{ij}$  é o efeito do  $j$ -ésimo animal do  $i$ -ésimo sexo,  $e_k$  é o efeito da  $k$ -ésima classe de espessura do velo ( $k=1, \dots, 3$ ),  $m$  é a média geral e  $e_{ijk}$  é o efeito residual inerente à observação  $y_{ijk}$ . Partindo desse modelo, foram construídas equações lineares, as quais foram então solucionadas por um programa baseado no algoritmo iterativo de Gauss-Seidel. As somas de quadrados para os diferentes efeitos foram obtidas conforme Searle et al. (1992).

### Resultados e Discussão

Na Tabela 1, encontram-se os resultados da análise de variância das taxas de evaporação respiratória e cutânea e na Tabela 2, as respectivas médias. Deve ser destacado que a expressão de  $E_R$  e

Tabela 1 - Quadrados médios das taxas de evaporação respiratória ( $E_R$ ) e cutânea ( $E_C$ ) de ovinos da raça Corriedale  
 Table 1 - Mean squares of the respiratory ( $R_R$ ) and cutaneous ( $E_C$ ) evaporation rates in Corriedale sheep

Fonte de variação <i>Source of variation</i>	g.l. <i>d.f.</i>	$E_R$	$E_C$
Sexo ( <i>Sex</i> )	1	0,882491 **	1,636310**
Animais dentro sexo ( <i>Animals within sex</i> )	8	0,023313 **	0,032250 ns
Espessura do velo ( <i>Fleece thickness</i> )	2	0,443544 **	2,010138 **
Resíduo ( <i>Residual</i> )	69	0,007153	0,283131

\*\*  $P < 0,01$ .

<sup>ns</sup>Não significativo (*Not significant*).

Tabela 2 - Médias por quadrados mínimos e erros padrões das taxas de evaporação respiratória ( $E_R$ ) e cutânea ( $E_C$ ) de ovinos da raça Corriedale ( $\text{g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ )

Table 2 - Least squares means and standard errors of the respiratory ( $E_R$ ) and cutaneous ( $E_C$ ) evaporation rates of Corriedale sheep. Values in  $\text{g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Médias ( <i>Means</i> )	$E_C$	n	$E_R$
Geral ( <i>Overall mean</i> )	81	0,7599±0,0094	1,3029±0,0591
Sexo ( <i>Sex</i> ):			
Machos ( <i>Males</i> )	58	0,6942±0,0145	1,3924±0,0915
Fêmeas ( <i>Females</i> )	23	0,9257±0,0199	1,0772±0,1257
Espessura do velo: <i>Fleece thickness</i>			
7,5 – 8,1 cm	18	0,9389±0,0220	0,8869±0,1386
9,7 – 10,4 cm	45	0,7393±0,0157	1,4318±0,0989
11,1 – 12,6 cm	18	0,6326±0,0220	1,3965±0,1386

EC em termos de gramas de vapor por unidade de peso corporal é considerada como a mais correta e racional pela maioria dos autores, desde Brockway et al. (1965).

As médias gerais obtidas no presente trabalho para ER ( $0,7599 \pm 0,0094 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ) e para EC ( $1,3029 \pm 0,0591 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ) estão muito próximas das estimadas por Hofmeyr et al. (1969 em condições similares e, tal como mencionaram estes autores, a evaporação respiratória representa cerca de 37% da evaporação total. O valor de  $0,702 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  observado por Hammarlund et al. (1986) dificilmente pode ser comparado com esses resultados, uma vez que foi obtido de animais recém-nascidos submetidos a temperaturas relativamente baixas (22 a  $23,7^\circ\text{C}$ ).

A análise de variância mostra que houve diferença significativa entre sexos quanto a ambas as vias de evaporação: no caso da evaporação respiratória, as fêmeas apresentaram taxa média mais elevada ( $0,9257 \pm 0,0199 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ) que os machos ( $0,6942 \pm 0,0145 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ), enquanto no caso da evaporação cutânea os machos é que apresentaram média mais elevada ( $1,3924 \pm 0,0915 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  contra  $1,0772 \pm 0,1257 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  para as fêmeas).

Hofmeyr et al. (1969) observaram para ovinos das raças Targhee, Western e Blackface expostos por duas horas a  $38^\circ\text{C}$  valores médios próximos aos obtidos no presente trabalho: 1,67 e  $0,90 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  nos machos e 0,92 e  $0,77 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  nas fêmeas, para ER e EC respectivamente. Brockway et al. (1965) avaliaram as perdas térmicas por evaporação em animais Cheviot e seus resultados, convertidos para as unidades aqui utilizadas, indicam valores de evaporação respiratória entre  $0,427 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  e  $1,249 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  a  $30^\circ\text{C}$ ; quanto à evaporação cutânea, os valores foram  $0,214$  e  $0,286 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  e  $0,345 \text{ g.h}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  a  $30^\circ\text{C}$ .

No que se refere à influência da espessura do velo, é interessante notar que, à medida que aumenta a mesma, reduz-se a evaporação respiratória, como é mostrado na Figura 1. O efeito da temperatura do ar sobre os dois tipos de evaporação também é diferente, conforme a espessura do velo (Figuras 2 a 4), sendo mais acentuado quando o velo é menos espesso (7,5 a 8,1 cm). A evaporação cutânea tende a ser maior, à medida que a espessura do velo aumenta, até esta ser de cerca de 10 cm; este incremento na evaporação ocorre ao nível da superfície cutânea e

foi observado também por Hofmeyr et al. (1969), em circunstâncias semelhantes.

Uma hipótese que pode ser aventada é que o nível de evaporação cutânea, o qual se acha diretamente associado à taxa de sudação dos animais, tende a aumentar quando a temperatura da superfície da

epiderme se eleva. Como se pode observar na Figura 2, nos animais com velo menos espesso a evaporação cutânea permanece praticamente inalterada, à medida que a temperatura ambiente se eleva até 45°C, ao mesmo tempo em que a evaporação respiratória sobe mais rápido nas temperaturas mais altas.

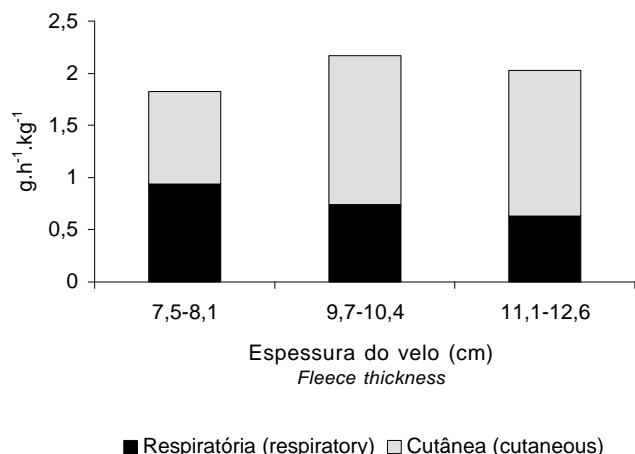


Figura 1 - Taxas médias de evaporação respiratória e cutânea em ovinos da raça Corriedale, conforme a espessura do velo.

Figure 1 - Average respiratory and cutaneous evaporation rates of Corriedale sheep, according to the fleece thickness.

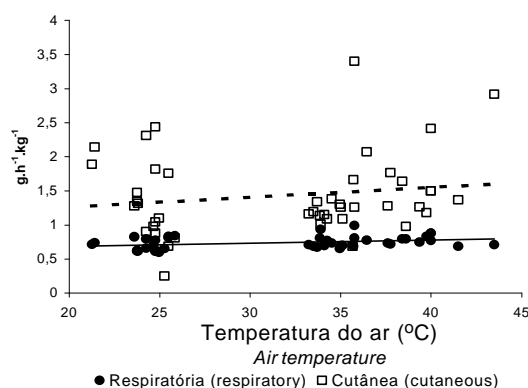


Figura 3 - Influência da temperatura ambiente sobre as taxas de evaporação respiratória e cutânea de ovinos Corriedale com velo de 9,7 a 10,4 cm de espessura.

Figure 3 - Influence of the ambient temperature on the respiratory and cutaneous evaporation rates of Corriedale sheep with fleece 9.7 to 10.4 cm thick.

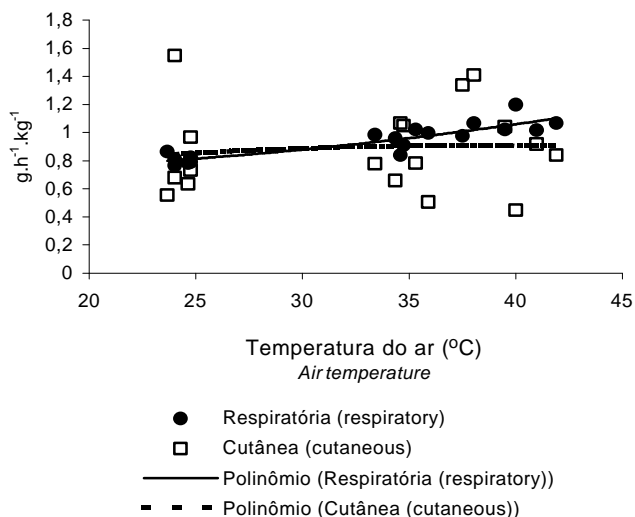


Figura 2 - Influência da temperatura ambiente sobre as taxas de evaporação respiratória e cutânea de ovinos Corriedale com velo de 7,5 a 8,1 cm de espessura.

Figure 2 - Influence of the ambient temperature on the respiratory and cutaneous evaporation rates of Corriedale sheep with fleece 7.5-8.1 cm thick.

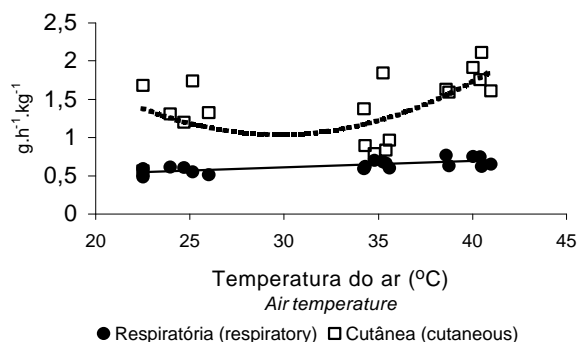


Figura 4 - Influência da temperatura ambiente sobre as taxas de evaporação respiratória e cutânea de ovinos Corriedale com velo de 11,1 a 12,6 cm de espessura.

Figure 4 - Influence of the ambient temperature on the respiratory and cutaneous evaporation rates of Corriedale sheep with fleece 11.1 to 12.6 cm thick.

Já nos animais com pelo mais espesso, a temperatura da epiderme se eleva devido à maior dificuldade de eliminação de calor sensível através da capa. Em conseqüência, a taxa de sudção aumenta e da mesma forma a evaporação cutânea. Aumentando a termólise por evaporação na superfície do corpo, o organismo pode reduzir então o trabalho respiratório, o que por sua vez resulta na diminuição da evaporação respiratória. Na Figura 5, pode-se verificar que a frequência respiratória aumenta com o estresse térmico, indicado pela elevação na temperatura corporal. É visível uma estabilização respiratória após a temperatura corporal atingir 40,5°C. Do ponto de vista fisiológico, isso é importante, uma vez que a frequência respiratória muito elevada e por tempo prolongado pode causar redução na pressão sanguínea de CO<sub>2</sub>, além de sensível acréscimo no calor armazenado nos tecidos, devido ao trabalho acelerado dos músculos respiratórios.

Um aspecto que deve ser destacado é que a sudção tem sido estudada há bastante tempo em ovinos em ambientes quentes. Com respeito às raças de origem européia, têm sido observadas taxas de sudção bastante variáveis: 35 a 265 g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> em Suffolk (Nogueira et al., 1987), 90,6±5,5 g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> em Ideal (Silva et al., 1990), 145,2±6,1 a 270,7±45,1 g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> em Rambouillet (Rai et al. 1979). Entretanto, nos ovinos lanados a epiderme é muito permeável à água e ao vapor, sendo quantitativamente muito importante a perspiração insensível, de modo

que as taxas de evaporação cutânea geralmente correspondem a um volume de água maior que o secretado pelas glândulas sudoríparas isoladamente. Os métodos empregados na determinação da taxa de sudção não permitem a separação desta e da perspiração insensível.

De qualquer forma, os resultados obtidos no presente trabalho destacam a importância da evaporação cutânea para ovinos em ambientes quentes, confirmando as observações de Rieck et al. (1950), Knapp & Robinson (1954) e, em parte, Hofmeyr et al. (1969). A evaporação respiratória é neste caso um mecanismo funcionalmente adequado para respostas intensas durante períodos mais curtos.

### Conclusões

A taxa de evaporação respiratória (ER) para ovinos Corriedale em condições tropicais, com temperaturas ambientes entre 21 e 42°C, é em média 0,7599±0,0094 g.h<sup>-1</sup> por kg de peso corporal, ao passo que a evaporação cutânea (EC) é 1,3029±0,0591 g.h<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>.

Há diferenças significativas entre indivíduos quanto a ER, mas não quanto a EC.

Os machos tendem a apresentar menores valores de ER e maiores valores de EC que as fêmeas.

A evaporação cutânea tem um papel importante para a termorregulação de ovinos laníferos em ambientes de alta temperatura, contribuindo em média com 63% da evaporação total.

### Agradecimento

O presente projeto foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Proc. 97/09549-0.

### Literatura Citada

- ALEXANDER, G.; WILLIAMS, D. Temperature regulation in the newborn lamb. VI. Heat exchanges in lambs in a hot environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.13, p.122-143, 1962.
- BLIGH, J. The synchronous discharge of apocrine sweat glands of the Welsh mountain sheep. *Nature*, v.189, p.582-583, 1961.
- BROCKWAY, J.M.; McDONALD, J.D.; PULLAR, J.D. Evaporative heat-loss mechanisms in sheep. *Journal of Physiology*, v.179, p.554-568, 1965.
- BROOK, A.H.; SHORT, B.F. Regulation of body temperature of sheep in a hot environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.11, p402-407, 1960a.

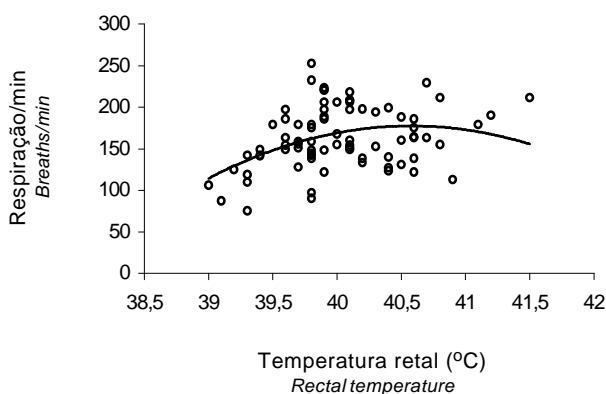


Figura 5 - Variação da frequência respiratória em função da temperatura retal, em ovinos da raça Corriedale expostos a temperaturas entre 20 e 45°C.

Figure 5 - Variation of the respiratory rate as function of the body temperature for Corriedale sheep under environmental temperatures from 20 to 45°C.

- BROOK, A.H.; SHORT, B.F. Sweating in sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.11, p.557-569, 1960b.
- FINCH, V.A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.36, p.497-506, 1985.
- HALES, J.R.S. Physiological responses to heat. In: ROBERTSHAW, D. (Ed.) **Environmental physiology**. London: Butterworths, 1974.
- HAMMARLUND, K.; RIESENFELD, T.; SEDIN, G. Measurement of respiratory water loss in newborn lambs. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.127, p.61-65, 1986.
- HOFMEYR, H.S.; GUIDRY, A.J.; WALTZ, F.A. Effects of temperature and wool length on surface and respiratory evaporative losses of sheep. **Journal of Applied Physiology**, v.26, p.517-523, 1969.
- HOLMES, C.R. Application of a weighing system for measuring total evaporative water losses in large ruminants. **Journal of Thermal Biology**, v.10, p.5-7, 1985.
- KNAPP, B.J.; ROBINSON, K.W. The role of water for heat dissipation by a Jersey cow and a Corriedale ewe. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.5, p.568-577, 1954.
- MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of Environmental physics**. 2.ed. London: E. Arnold, 1990. 291p.
- NOGUEIRA, O.R.; FARES, M.A.; MORÃO, F. et al. Sudação e temperatura retal em ovinos no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 7., 1987, Areias. **Anais...** Jaboticabal: Unversidade Estadual Paulista, 1987.
- RAI, A.K.; SINGH, M.; MORE, T. Cutaneous water loss and respiration rates of various breeds of sheep at high ambient temperatures. **Tropical Animal Health and Production**, v.11, p.51-56, 1979.
- RIEK, P.F.; HARDY, M.H.; LEE, D.H.K. et al. The effect of the dietary plane upon the reactions of two breeds of sheep during short exposures to hot environments. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.1, p.217-230, 1950.
- ROBERTSHAW, D. Sweat gland functioning of the domestic ruminants. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY, 4., 1966, New Brunswick, NJ. **Proceedings...** New Brunswick: International Society of Bometeorology, 1966.
- SEARLE, S.R.; CASELLA, G.; McCULLOCH, C.E. **Variance Components**. New York: J. Wiley, 1992. 501p.
- SILVA, R.G.; COSTA, M.J.R.P.; NOGUEIRA, O.R. Sweating rate of heat stressed sheep. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY, 12., 1990, Viena. **Proceedings...** Viena: International Society of Biometeorology, 1990. p.64.
- SILVA, R.G.; La SCALA Jr., N.; LIMA FILHO, A.E. et al. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, v.46, p.136-140, 2002.

Recebido em: 15/04/02

Aceito em: 29/04/03