



**Universidade dos Açores**  
**Campus de Angra do Heroísmo**  
Departamento de Ciências Agrárias



*Mestrado em Engenharia Zootécnica*

# **Determinação do efeito de sombreamento artificial através de respostas fisiológicas em bovinos na estação quente açoriana**



**Ana Isabel Câmara Serpa**

Angra do Heroísmo

2011



**Universidade dos Açores**  
**Campus de Angra do Heroísmo**



Departamento de Ciências Agrárias

*Mestrado em Engenharia Zootécnica*

**Determinação do efeito de sombreamento artificial através de respostas fisiológicas em bovinos na estação quente açoriana**

Ana Isabel Câmara Serpa

Orientador: Prof. Doutor Luís Souto

Apoios:



PROJECTO CO-FINANCIADO  
PELA UNIÃO EUROPEIA



Angra do Heroísmo

2011

*“(...) O verbo esperar torna-se tão imperativo como o verbo respirar. A vida transforma-se numa estação de comboios e o vento anuncia-nos a chegada antes do alcance do olhar. O amor na espera ensina-nos a ver o futuro, a desejá-lo, a organizar tudo para que ele seja possível. E se calhar é por tudo isso que já aprendi a esperar, confiando à vida tudo o que não sei, ou não posso escolher. É mais fácil esperar do que desistir. É mais fácil desejar do que esquecer. É mais fácil sonhar do que perder. E para quem vive a sonhar, é muito mais fácil viver.”*

Margarida Rebelo Pinto *in Diário da tua Ausência*

*“Lutar sempre sonhando!”*

Manu

## Agradecimentos

À Universidade dos Açores e Departamento de Ciências Agrárias onde fiz o meu percurso académico no ensino superior.

Ao Prof. Dr. Luís Souto, por ter aceitado ser meu orientador e orientar este trabalho, bem como, pelo apoio, conhecimentos transmitidos e amizade.

Ao Prof. Dr. Moreira da Silva, coordenador do mestrado e responsável pelo grupo de Reprodução Animal. Obrigada pelo apoio, amizade e disponibilização das condições e instalações para tratamento das amostras de sangue.

Ao Sr. Paulo Ferreira, responsável pela Granja Universitária, que possibilitou condições de trabalho com os animais da raça *Holstein*, bem como aos trabalhadores da exploração que auxiliaram durante a atividade.

Ao Sr. Luís Machado pela sua colaboração na cedência dos animais da raça *Aberdeen-Angus* e nas condições necessárias, bem como ao engenheiro Tiago e trabalhadores da exploração por toda a ajuda prestada nos trabalhos.

Ao Sr. António Batista pela colaboração na cedência dos animais da raça *Limousine*, condições de trabalho e por toda a ajuda prestada.

Ao Prof. Dr. José Carlos Fontes, Prof. Dr. Eduardo Brito Azevedo e ao Centro de Clima, Meteorologia e Mudanças Globais pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos meus colegas e amigos de Ciências Agrárias e Mestrado em Engenharia Zootécnica, Ana, André, António, Carina, Eduarda, Elisabete, Jenna, Jorge, Nélia, Rúben, Sofia, Pedro, e ainda, a todos aqueles que conheci pela universidade e fora dela. Obrigada pela amizade, apoio e pelos momentos que vivemos.

Ao Manu por ser um amigo para a vida mesmo à distância. Obrigada pela amizade, carinho, apoio e o incentivo de me fazer acreditar que os sonhos são possíveis.

À Eduardinha e à Gori que foram muitas vezes um apoio fundamental e minha família de acolhimento neste meu percurso da vida. Obrigada pela amizade e carinho

Aos meus pais de empréstimo, o tio Vasconcelos que apoia sempre, pelo carinho e conversas, sobretudo quando a coisa não anda bem e o *stress* reina. E à tia Esmeralda, que na sua forma de me dar na cabeça vai mostrando o seu carinho, apoio e o orgulho por eu ser quem sou. A eles o meu obrigado.

À Antónia por ser uma boa amiga e madrinha. Obrigada por tudo.

À minha restante família, em especial à minha mãe Telma, porque sem ela nada disto seria possível, pois o seu incentivo foi muitas vezes essencial para que a caminhada não ficasse pelo meio, e a ela dedico este trabalho.

## Resumo

Nos Açores, os bovinos são mantidos em regime de pastoreio ao longo de todo o ano. Nestas condições, os animais estão sujeitos à ação direta do clima, com potenciais reflexos na produtividade, no conforto térmico e bem-estar animal.

O presente trabalho decorreu em 2 épocas do ano com diferentes condições climáticas: na estação amena (meses de abril e maio de 2010 e 2011), e na estação quente (meses de julho e agosto de 2010 e mês de julho de 2011). O objetivo do estudo foi determinar o efeito de sombreamento artificial em bovinos nas condições climáticas açorianas na estação quente, considerando as respostas na taxa de respiração, na temperatura retal e na concentração de cortisol plasmático. E estimar o balanço térmico e a taxa de respiração dos animais.

Na raça *Holstein*, os animais ao Sol na estação quente registaram uma maior correlação entre a taxa de respiração e a temperatura do ar ( $r = 0,69$ ), com um aumento de  $4,53 \text{ ml min}^{-1}$  por  $1^\circ\text{C}$ . O THI obteve a correlação maior ( $r = 0,68$ ), com um aumento de  $3,61 \text{ ml min}^{-1}$  por unidade. Nos animais à sombra registaram-se correlações negativas fracas com os parâmetros climáticos e com o THI e o BGHI.

Na raça *Aberdeen-Angus*, os animais ao Sol na estação quente e amena registaram, com as temperaturas do ar e do globo negro, igual correlação com a taxa de respiração ( $r = 0,85$ ). O aumento de  $1^\circ\text{C}$  da temperatura do ar desencadeou o maior aumento na taxa de respiração ( $2,21 \text{ ml min}^{-1}$ ). O THI ( $r = 0,86$ ) obteve uma correlação semelhante à do BGHI ( $r = 0,87$ ), bem como o incremento da taxa de respiração ( $1,76 \text{ ml min}^{-1}$  vs.  $1,45 \text{ ml min}^{-1}$ , respetivamente). Na estação quente, o THI ( $r = 0,42$ ), registou o maior aumento na taxa de respiração ( $2,22 \text{ ml min}^{-1}$ ). Nos animais à sombra, verificou-se uma correlação negativa fraca com a temperatura do ar ( $r = -0,23$ ) com o THI ( $r = -0,057$ ), a qual foi quase nula. A temperatura do globo negro ( $r = 0,29$ ) e o BGHI ( $r = 0,35$ ) obtiveram correlações positivas fracas com a taxa de respiração.

Na raça *Limousine*, nos animais ao Sol na estação quente e amena, a taxa de respiração obteve a maior correlação com a temperatura do globo negro ( $r = 0,63$ ). Porém, o maior aumento na taxa de respiração ( $2,53 \text{ ml min}^{-1}$ ) verificou-se com a temperatura do ar ( $r = 0,33$ ). O THI ( $r = 0,66$ ) e o BGHI ( $r = 0,64$ ) obtiveram correlações semelhantes. Na estação quente, o THI ( $r = 0,23$ ) causou o maior incremento na taxa de respiração ( $1,24 \text{ ml min}^{-1}$ ). Nos animais à sombra registaram-se correlações iguais ( $r = -0,56$ ) com a temperatura do ar e com o THI. Não houve correlação entre a temperatura do globo negro e a taxa de respiração, e com o BGHI a correlação foi positiva fraca ( $r = 0,19$ ), com uma variação impercetível na taxa de respiração.

Obtiveram-se diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre a taxa de respiração dos animais ao Sol e à sombra na estação quente para as 3 raças em estudo. Isto permitiu concluir que o sombreamento teve um efeito positivo no conforto térmico dos animais.

Na raça *Holstein*, os animais ao Sol na estação quente registaram uma maior correlação entre a temperatura retal e a temperatura do ar ( $r = 0,77$ ), com um aumento de  $0,1^\circ\text{C}$  por  $1^\circ\text{C}$  deste parâmetro climático. O THI ( $r = 0,69$ ) e o BGHI ( $r = 0,7$ ) apresentaram correlações semelhantes, mas o aumento da temperatura retal por unidade de THI foi superior ( $0,08^\circ\text{C}$ ). Nos animais à sombra, a temperatura retal apresentou correlações positivas fracas com os parâmetros climáticos e índices de conforto térmico, exceto com o THI ( $r = 0,5$ ).

Na raça *Aberdeen-Angus*, nos animais ao Sol na estação quente e amena, não se verificaram correlações entre a temperatura retal e os parâmetros climáticos nem com o THI ou o BGHI. Nos animais à sombra, a temperatura retal apresentou correlações negativas fracas com a temperatura do ar ( $r = -0,23$ ) e o com o THI ( $r = -0,21$ ); com a temperatura do globo negro ( $r = 0,22$ ) e com o BGHI ( $r = 0,21$ ) registaram-se correlações positivas fracas. As variações registadas na temperatura retal dos animais à sombra não foram perceptíveis.

Na raça *Limousine*, nos animais ao Sol na estação quente e amena, a temperatura do globo negro obteve a maior correlação ( $r = 0,73$ ) com a temperatura retal, mas foi com a temperatura do ar ( $r = 0,66$ ) que registou o maior aumento ( $0,1\text{ °C}$ ). O BGHI registou a maior correlação ( $r = 0,73$ ) e o THI ( $r = 0,68$ ) o maior incremento na temperatura retal ( $0,08\text{ °C}$ ) por unidade. Nos animais à sombra, a temperatura retal apresentou correlações positivas fortes com a temperatura do ar ( $r = 0,84$ ) e o com o THI ( $r = 0,83$ ). Com a temperatura do globo negro ( $r = -0,86$ ) e BGHI ( $r = -0,97$ ) verificaram-se correlações negativas fortes.

Registaram-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre a temperatura retal dos animais ao Sol e à sombra na estação quente apenas para a raça *Holstein*.

Não se verificaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre a concentração de cortisol plasmático dos animais ao Sol e à sombra na estação quente nas 3 raças em estudo. Conclui-se que as condições climáticas registadas não se refletiram sobre a concentração desta hormona.

O balanço térmico estimado foi semelhante para os animais ao Sol das 3 raças, onde as maiores perdas por calor sensível se verificaram nas primeiras horas, quando o gradiente térmico foi maior. As perdas por via latente, nomeadamente as perdas de calor por evaporação no trato respiratório atingiram o seu valor mais alto, sempre que a temperatura do ar e os ganhos de calor por radiação solar verificaram os seus máximos. As taxas de respiração também acompanharam estes 2 parâmetros ambientais. Nos animais à sombra, e também para as 3 raças, o modelo não apresentou resultados consistentes com os valores observados. Assim, não foi possível efetuar a comparação do balanço térmico e da taxa de respiração entre os animais ao Sol e os animais à sombra.

De forma geral, concluiu-se que o sombreamento artificial teve um efeito sobre as respostas fisiológicas dos animais das raças em estudo, em particular na taxa de respiração e na temperatura retal. Nas raças em que foram registadas ligeiras variações na temperatura retal, o efeito no balanço térmico foi irrelevante, em função das condições de ambiente térmico que ocorreram durante o período experimental.

**Palavras-chave:** sombreamento artificial, taxa de respiração, temperatura retal, cortisol, conforto térmico, bovinos.

## Abstract

In the Azores islands cattle are kept on grazing *all the year* round Under these conditions, animals are subject to the direct action of climate, with potential negative effects on productivity, thermal comfort and animal welfare.

This study took place in two seasons with different weather conditions: mild season (April and May of 2010 and 2011) and hot season (July and August 2010 and July 2011). The aim of this work was to study the effect of artificial shade on cattle under Azores climatic conditions during the hot season, considering the responses in the respiration rate, rectal temperature and plasmatic cortisol concentration. Also it was estimated the thermal balance and the respiration rate.

The Holstein breed animals submitted to direct Sun in the hot season showed a bigger correlation between respiration rate and air temperature ( $r = 0,69$ ), with an increase of 4,53 breaths  $\text{min}^{-1}$  per  $1^\circ\text{C}$ . The THI obtained the highest correlation ( $r = 0,68$ ), with an increase of 3,61 breaths  $\text{min}^{-1}$  per unit. In shaded animals there were weak negative correlations with climate parameters and the THI and the BGHI.

The Aberdeen-Angus breed animals in the Sun in the hot and mild seasons showed, with air and black globe temperatures, the same correlation with the respiration rate ( $r = 0,85$ ). The increase of  $1^\circ\text{C}$  air temperature triggered the largest increase in the respiration rate (2,21 breaths  $\text{min}^{-1}$ ). The THI ( $r = 0,86$ ) obtained a similar correlation as the BGHI ( $r = 0,87$ ), just like the increase in the respiration rate (1,76 breaths  $\text{min}^{-1}$  vs. 1,45 breaths  $\text{min}^{-1}$ , respectively). In the hot season, the THI ( $r = 0,42$ ), recorded the largest increase in the respiration rate (2,22 breaths  $\text{min}^{-1}$ ). In shaded animals, there was a weak negative correlation with air temperature ( $r = -0,23$ ) and with THI ( $r = -0,057$ ), which was almost nil. The black globe temperature ( $r = 0,29$ ) and BGHI ( $r = 0,35$ ) had weak positive correlations with the respiration rate.

With Limousine breed animals in the Sun in hot and mild seasons, the respiration rate obtained the highest correlation with the black globe temperature ( $r = 0,63$ ). However, the biggest increase in the respiration rate (2,53 breaths  $\text{min}^{-1}$ ) occurred with the air temperature ( $r = 0,33$ ). The THI ( $r = 0,66$ ) and the BGHI ( $r = 0,64$ ) obtained similar correlations. In the hot season, the THI ( $r = 0,23$ ) caused the greatest increase in the respiration rate (1,24 breaths  $\text{min}^{-1}$ ). Shaded animals registered equal correlations ( $r = -0,56$ ) with the air temperature and the THI. It wasn't observed correlation between the black globe temperature and respiration rate, and the BGHI positive correlation was weak ( $r = 0,19$ ), with an imperceptible increase in the respiration rate.

It was obtained highly significant differences ( $p < 0,001$ ) on the respiration rate between animals in the Sun and shaded during the hot season for the 3 breeds studied. This allows to conclude that shade had a positive effect on thermal comfort conditions.

The Holstein breed animals in the Sun in the hot season showed a greater correlation between rectal temperature and air temperature ( $r = 0,77$ ), with an increase of  $0,1^\circ\text{C}$  per  $1^\circ\text{C}$  of this climate parameter. The THI ( $r = 0,69$ ) and the BGHI ( $r = 0,7$ ) showed similar correlations, but the increase in the rectal temperature per unit of THI was higher ( $0,08^\circ\text{C}$ ). With Shaded

animals, the rectal temperature showed weak positive correlations with climate parameters and thermal comfort indices, except with THI ( $r = 0,5$ ).

The Aberdeen-Angus breed animals in the Sun, during the hot and mild seasons, didn't show correlations between rectal temperature and climate parameters or with the THI or the BGHI. With shaded animals, the rectal temperature showed weak negative correlations with air temperature ( $r = -0,23$ ) and with the THI ( $r = -0,21$ ); with the black globe temperature ( $r = 0,22$ ) and the BGHI ( $r = 0,21$ ) showed weak positive correlations. The variations in rectal temperature in the shaded animals weren't perceptibles.

With Limousine breed animals in the Sun, during the hot and mild seasons, black globe temperature obtained the highest correlation ( $r = 0,73$ ) with the rectal temperature, but it was with the air temperature ( $r = 0,66$ ) that is was observed the biggest increase ( $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). The BGHI recorded the highest correlation ( $r = 0,73$ ) and THI ( $r = 0,68$ ) the largest increase in rectal temperature ( $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) per unit. With shaded animals, rectal temperature showed strong positive correlations with air temperature ( $r = 0,84$ ) and with the THI ( $r = 0,83$ ). With the black globe temperature ( $r = -0,86$ ) and the BGHI ( $r = -0,97$ ) it was obtained strong negative correlations.

Only the Holstein breed had significant differences ( $p < 0,05$ ) between the rectal temperature of animals in the Sun and in the shade during the hot season.

There were no significant differences ( $p > 0,05$ ) between plasma cortisol concentration of animals in the Sun and in the shade during the hot season for the 3 breeds studied. It was concluded that the climatic conditions observed hadn't effects on the concentration of this hormone.

The results of the estimated thermal balance with animals in the Sun were similar for the 3 breeds, where the bigger sensible heat losses occurred in the morning hours, when the thermal gradient was higher. Latent heat loss, namely evaporation heat loss in the respiratory tract, reached their highest value, when the air temperature and the heat gain by solar radiation were maximum. Respiration rates also followed these two environmental parameters. With shaded animals, and also for the 3 breeds, the model did not show consistent results with the observed values. So, it was not possible to compare the thermal balance and respiration rate among the animals to the Sun and in the shade.

Overall, it was concluded that artificial shade had a positive effect on the physiological animal responses in the studied breeds, particularly in respiration rate and rectal temperature. Under the research climatic conditions, the slight variation on the rectal temperature observed produces an irrelevant effect on cattle thermal balance.

**Keywords:** artificial shade, respiration rate, rectal temperature, cortisol, thermal comfort, grazing cattle

# Índice geral

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>IV</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VII</b>
<b>Índice geral</b> .....	<b>IX</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Índice de quadros</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de abreviaturas e símbolos</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Revisão bibliográfica</b> .....	<b>3</b>
1.1. Homeotermia e conforto térmico .....	3
1.2. Processos de transferência de calor .....	8
1.3. O <i>stress</i> térmico e as respostas fisiológicas.....	14
1.3.1. As respostas hormonais – o cortisol.....	17
1.3.2. Taxa de respiração.....	19
1.3.3. Temperatura retal .....	20
1.4. <i>Stress</i> térmico e respostas comportamentais .....	21
1.5. Efeito do <i>stress</i> térmico por calor na fisiologia da reprodução.....	23
<b>1.6. Efeito do <i>stress</i> térmico por calor na fisiologia do crescimento e na produção leiteira</b>	<b>27</b>
1.7. Índices de conforto térmico para bovinicultura .....	32
1.8. O modelo Torrid.....	33
1.9. Maneio ambiental nas explorações pecuárias .....	34
1.9.1. O sombreamento.....	36
<b>2. Trabalho experimental</b> .....	<b>41</b>
2.1. Objetivos.....	41
2.2. Materiais e métodos.....	41
2.2.1. Localização dos trabalhos experimentais.....	41
2.2.2. Condições e metodologia do trabalho experimental .....	42
2.2.3. Registo de dados fisiológicos e recolha e tratamento de amostras biológicas.	43

2.2.4.	Registo de dados meteorológicos .....	43
2.2.5.	Cálculo dos valores de THI e BGHI.....	44
2.2.6.	Análise estatística .....	45
2.2.7.	Aplicação do modelo Torrid .....	45
2.2.7.1.	Estimativa do balanço térmico e taxa de respiração dos animais ao Sol e à sombra	45
<b>3.</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>47</b>
3.1.	Raça <i>Holstein</i> .....	47
3.1.1.	Taxa de respiração.....	47
3.1.2.	Temperatura retal .....	52
3.1.3.	Concentração de cortisol plasmático .....	58
3.1.4.	Aplicação do modelo Torrid .....	60
3.2.	Raça <i>Aberdeen-Angus</i> .....	62
3.2.1.	Taxa de respiração.....	63
3.2.2.	Temperatura retal .....	67
3.2.3.	Concentração de cortisol plasmático .....	70
3.2.4.	Aplicação do modelo Torrid .....	72
3.3.	Raça <i>Limousine</i> .....	74
3.3.1.	Taxa de respiração.....	75
3.3.2.	Temperatura retal .....	78
3.3.3.	Aplicação do modelo Torrid .....	84
<b>4.</b>	<b>Conclusões e perspetivas futuras .....</b>	<b>87</b>
<b>5.</b>	<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>93</b>

## Índice de figuras

Figura 1 — Representação esquemática da relação entre a temperatura corporal, produção/dissipação de calor e das condições ambientais críticas de sobrevivência de um animal (Adaptado de Mount, 1974 e Silanikove, 2000).....	6
Figura 2 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Holstein</i> .....	48
Figura 3 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e o THI, no período experimental para a raça <i>Holstein</i> . ....	49
Figura 4 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Holstein</i> . ....	50
Figura 5 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e o BGHI, no período experimental para a raça <i>Holstein</i> . ....	51
Figura 6 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Holstein</i> . ....	53
Figura 7 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e o THI, no período experimental para a raça <i>Holstein</i> .....	54
Figura 8 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Holstein</i> . ....	55
Figura 9 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e BGHI, no período experimental para a raça <i>Holstein</i> .....	56
Figura 10 — Representação gráfica da relação entre os da taxa de respiração (valores médios observados nos animais ao sol na estação quente e estimados pelo modelo) e a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e os ganhos de calor por radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ), ao longo do dia, para a raça <i>Holstein</i> . ....	62
Figura 11 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> . ....	63

Figura 12 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e a THI, no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	64
Figura 13 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	65
Figura 14 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e o BGHI, no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	66
Figura 15 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	67
Figura 16 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o THI, no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	68
Figura 17 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	68
Figura 18 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o BGHI ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental, para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	69
Figura 19 — Representação gráfica da relação entre a taxa de respiração (valores médios observados nos animais ao sol na estação quente e estimados pelo modelo) e a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e os ganhos de calor por radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ), ao longo do dia, para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .	74
Figura 20 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Limousine</i> .	75
Figura 21 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ) na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e o THI, no período experimental para a raça <i>Limousine</i> .	76
Figura 22 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça <i>Limousine</i> .	77
Figura 23 — Representação gráfica da relação dos valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o BGHI, no período experimental para a raça <i>Limousine</i> .	77

Figura 24 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar (°C), no período experimental para a raça <i>Limousine</i> .....	78
Figura 25 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o THI, no período experimental para a raça <i>Limousine</i> . ....	79
Figura 26 — Representação gráfica da relação dos valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do globo negro (°C), no período experimental para a raça <i>Limousine</i> . ....	80
Figura 27 — Representação gráfica da relação dos valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o BGHI, no período experimental para a raça <i>Limousine</i> . ....	80
Figura 28 — Representação gráfica da relação entre a taxa de respiração (valores médios observados nos animais ao sol na estação quente e estimados pelo modelo) e a temperatura média do ar (°C) e os ganhos de calor por radiação solar ( $W m^{-2}$ ), ao longo do dia, para a raça <i>Limousine</i> . ....	86

## Índice de quadros

Quadro 1 — Constantes empíricas do número de Reynolds (Re), B e m, obtidas por vários autores em condições de ventilação forçada (Souto, 2006).....	11
Quadro 2 — Constantes empíricas do número de Grashof, C e n, obtidas por vários autores em condições de convecção natural (Souto, 2006). .....	11
Quadro 3 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Holstein</i> .....	52
Quadro 4 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra), e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Holstein</i> .....	56
Quadro 5 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra), e na estação amena ao (Sol) para as 9, 15 e 18 horas na raça <i>Holstein</i> .....	57
Quadro 6 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Holstein</i> .....	58
Quadro 7 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça <i>Holstein</i> . .....	59
Quadro 8 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores do cálculo do balanço térmico por hora, na raça <i>Holstein</i> . .....	60
Quadro 9 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores da taxa de respiração estimada e observada, na raça <i>Holstein</i> .....	61
Quadro 10 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> . .....	67
Quadro 11 — Média, desvio padrão, erros padrão, mínimo e máximo da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol), para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> .....	69
Quadro 12 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) na estação quente (Sol e ao à sombra), e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça <i>Aberdeen-Angus</i> . .....	70
Quadro 13 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Aberdeen-Angus</i> . .....	71
Quadro 14 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra), e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça <i>Aberdeen-Angus</i> .....	71
Quadro 15— Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores do cálculo do balanço térmico por hora, na raça <i>Aberdeen-Angus</i> .....	72
Quadro 16 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores da taxa de respiração estimada e observada, na raça <i>Aberdeen-Angus</i> . .....	73

Quadro 17 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da taxa de respiração observada ( $\text{ml min.}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para raça <i>Limousine</i> .....	78
Quadro 18 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Limousine</i> .....	81
Quadro 19— Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça <i>Limousine</i> .....	81
Quadro 20 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça <i>Limousine</i> .....	83
Quadro 21 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas na raça <i>Limousine</i> .....	83
Quadro 22 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média(%), e valores do cálculo do balanço térmico por hora, na raça <i>Limousine</i> . .....	84
Quadro 23 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores da taxa de respiração estimada e observada ( $\text{ml min.}^{-1}$ ), na raça <i>Limousine</i> .....	85

## Lista de abreviaturas e símbolos

a	coeficiente de expansão térmica do ar [ $K^{-1}$ ]
$A_c$	área de superfície corporal [ $m^2$ ]
$A_{cd}$	área de superfície corporal exposta à condução [ $m^2$ ]
ACTH	hormona adrenocorticotrófica [adimensional]
$A_e$	área da superfície envolvente [ $m^2$ ]
$A_R$	área de radiação da superfície corporal [ $m^2$ ]
ATP	adenosina trifosfato [adimensional]
B	constante empírica do número de Nusselt para a convecção forçada [adimensional]
BGHI	índice de globo negro e humidade [adimensional]
C	constante empírica do número de Grashof para a ventilação natural [adimensional]
$C_{18:0}$	ácido esteárico [adimensional]
$C_{18:1}$	ácido oleico [adimensional]
$C_{18:2}$	ácido linoleico [adimensional]
$C_{18:3}$	ácido linolénico [adimensional]
$C_6-C_{14}$	ácidos gordos de cadeia curta [adimensional]
$C_{cv}$	fluxo de calor por convecção [ $W m^{-2}$ ]
$CO_2$	dióxido de carbono [adimensional]
CRH	hormona libertadora de corticotrofina [adimensional]
d	diâmetro característico do animal [m]
E	fluxo de calor latente por evaporação [ $W m^{-2}$ ]
$e_a$	pressão de vapor do ar [hPa]
$E_p$	fluxo de transferência calor latente por evaporação através da superfície cutânea [ $W m^{-2}$ ]
$e_p$	pressão de vapor na superfície da pele [hPa]
$E_r$	fluxo de transferência de calor latente por evaporação através do trato respiratório [ $W m^{-2}$ ]
$e_r$	pressão de vapor no trato respiratório [hPa]
FSH	hormona foliculo estimulante [adimensional]
g	aceleração da gravidade [ $9,81 m s^{-2}$ ]

GH	hormona do crescimento [adimensional]
GnRH	hormona libertadora da gonotrofinas
Gr	número de Grashof [adimensional]
HHA	complexo hipotálamo-hipófise-adrenais [adimensional]
HHG	complexo hipotálamo-hipófise-gónadas [adimensional]
$H_M$	fluxo de calor metabólico produzido [ $W m^{-2}$ ]
HS	calor armazenado no corpo [ $W m^{-2}$ ]
K	fluxo de calor por condução [ $W m^{-2}$ ]
$K_a$	condutibilidade térmica [ $W m^{-1} K^{-1}$ ]
$\ell$	comprimento ou espessura do material [m]
LH	hormona luteinizante [adimensional]
m	constante empírica do número de Reynolds para a convecção forçada [adimensional]
mr	movimentos respiratórios por unidade de tempo [ $mr \text{ min.}^{-1}$ ]
n	constante empírica do número de Grashof para a convecção natural [adimensional]
Nu	número de Nusselt [adimensional]
$Q_{cd}$	transferência de calor por condução [W]
$Q_e$	transferência de calor latente por evaporação [W]
$Q_M$	calor metabólico produzido [W]
$Q_R$	transferências de calor por radiação [W]
$Q_s$	transferências de calor sensível [W]
R	fluxo de calor por radiação [ $W m^{-2}$ ]
Re	número de Reynolds [adimensional]
$R_p$	resistência térmica do pavimento [ $m^2 K W^{-1}$ ]
$R_s$	ganhos de calor por radiação solar [ $W m^{-2}$ ]
$R_{sc}$	resistência térmica da superfície de contacto [ $m^2 K W^{-1}$ ]
$R_t$	resistência térmica dos tecidos corporais periféricos [ $m^2 K W^{-1}$ ]
$R_{ts}$	resistência térmica total à transferência do calor sensível [ $m^2 K W^{-1}$ ]
SAE	sistema de arrefecimento evaporativo [adimensional]
$T_1$	temperatura absoluta no ponto 1 [K]
$T_2$	temperatura absoluta no ponto 2 [K]

$T_3$	hormona triiodotironina [adimensional]
$T_4$	hormona tetraiodotironina ou tironina [adimensional]
$T_a$	temperatura absoluta do ar [K]
$T_b$	temperatura absoluta corporal [K]
$T_{bg}$	temperatura do globo negro [°C]
$T_{bs}$	temperatura do bolbo seco [°C]
$T_c$	temperatura absoluta da superfície da pelagem [K]
$T_{ci}$	temperatura crítica inferior [°C]
$T_{cs}$	temperatura crítica superior [°C]
$T_{dp}$	temperatura do ponto de orvalho [°C]
$T_{es}$	temperatura absoluta média das superfícies envolventes [K]
THI	índice de temperatura e humidade [adimensional]
$T_s$	temperatura absoluta da superfície do animal [K]
$V$	velocidade do ar [ $m\ s^{-1}$ ]
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i> [adimensional]
$W$	peso vivo do animal [kg]
$Z_{ep}$	impedância à transferência de calor por via evaporativa na superfície da pele [ $hPa\ m^2\ W^{-1}$ ]
$Z_{er}$	impedância à transferência de calor por via evaporativa no trato respiratório [ $hPa\ m^2\ W^{-1}$ ]
ZNT	zona de neutralidade térmica [adimensional]
$\epsilon_c$	emissividade do animal [adimensional]
$\epsilon_e$	emissividade média das superfícies envolventes [adimensional]
$\lambda$	condutividade térmica do material [ $W\ m^{-1}\ K^{-1}$ ]
$\nu$	viscosidade cinemática do ar [ $m^2\ s^{-1}$ ]
$\rho$	massa volúmica do ar [ $kg\ m^{-3}$ ]
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann [ $5,67 \times 10^{-2}\ W\ m^{-2}\ K^{-4}$ ]

## Introdução

A produção animal é influenciada pelo valor genético dos animais e pelos fatores ambientais que podem determinar a expressão desse potencial. Os fatores nutricionais e sanitários são normalmente os mais referenciados. Contudo, os fatores climáticos também desempenham um papel fundamental na produção, em particular, quando os animais se encontram ao ar livre.

No arquipélago dos Açores, os bovinos são mantidos em regime de pastoreio ao longo de todo o ano. São poucas as estruturas de estabulação e de armazenamento de alimentos, uma vez que a base de alimentação é a pastagem natural, completada com forragens conservadas e concentrado. Nestas condições, os animais estão sujeitos à ação direta do clima, com potenciais reflexos na produtividade, no conforto térmico e no bem-estar animal.

O clima dos Açores depende da posição do arquipélago no contexto da circulação atmosférica e oceânica do Atlântico norte. A região situa-se na zona de transição entre as massas de ar quentes e húmidas com origem subtropical e as massas de ar com características mais frias e secas de proveniência subpolar. As condições climáticas dominantes resultam dos gradientes de pressão que condicionam esta faixa oceânica, ou seja, das perturbações das baixas pressões subpolares e da evolução da cintura de altas pressões subtropicais. Assim, o percurso marítimo das massas de ar e a incursão de meandros derivados da corrente quente do golfo contribuem para as condições amenas da temperatura ambiente, e para ocorrerem valores elevados de humidade do ar e pluviosidade. O anticiclone dos Açores condiciona esta variação sazonal do clima insular, verificando-se que no verão, a sua deslocação para norte afasta a frente polar para latitudes mais elevadas, tornando o clima com temperaturas do ar mais elevadas.

Em condições de clima quente e húmido, os animais têm maiores dificuldades em dissipar o calor corporal para manterem a homeotermia. Nestas condições, as necessidades termorreguladoras aumentam de forma a evitar os riscos de hipertermia. Para tal, entram em funcionamento mecanismos fisiológicos e comportamentais que facilitam os processos de dissipação de calor.

Na atualidade, a ciência animal tem como um dos seus objetivos maximizar a produção incorporando as preocupações relativas ao conforto e ao bem-estar animal. O ambiente, onde o animal está inserido, é um dos diversos fatores que podem ser manipulados, em particular o ambiente térmico. O conhecimento da relação ambiente-animal permite a tomada de decisões

acerca do manejo e da adoção de tecnologia mais adequada a determinado sistema de produção. Assim, verifica-se a importância do conhecer o comportamento diário e sazonal das respostas fisiológicas, e a relação destes fatores com o ambiente onde os animais estão inseridos. O aumento da eficiência e a manutenção de altos níveis de produtividade dos animais nos sistemas de produção dos dias de hoje dependem, em grande parte, da implementação de medidas práticas.

O presente trabalho decorreu em 2 épocas do ano com diferentes condições climáticas: na estação amena (meses de abril e maio de 2010 e 2011), e na estação quente (meses de julho e agosto de 2010 e mês de julho de 2011). O estudo teve como objetivo, determinar o efeito do uso de sombreamento artificial em bovinos de leite e de carne nas condições climáticas açorianas, durante a estação quente, quando as condições de temperatura e a radiação solar são mais elevadas, considerando as respostas na taxa de respiração, na temperatura retal e na concentração do cortisol plasmático. Também se pretendeu estimar o balanço térmico e a taxa de respiração dos animais ao Sol e à sombra. Este trabalho pretendeu, assim, contribuir para melhorar o conhecimento sobre as respostas fisiológicas estudadas dos bovinos nos Açores, em particular na estação amena e quente.

## 1. Revisão bibliográfica

### 1.1. Homeotermia e conforto térmico

O funcionamento do organismo é resultado de processos físicos e químicos que são sensíveis às alterações da temperatura. A manutenção da vida processa-se num intervalo relativamente estreito de temperaturas, fora do qual a ação destes mecanismos fisiológicos não seria possível.

Segundo a perspetiva termorreguladora os animais são classificados, primeiramente, de acordo com a estabilidade da temperatura corporal, em poiquilotérmicos e homeotérmicos. As designações de animais de “sangue frio” para os poiquilotérmicos e de “sangue quente” para os homeotérmicos são utilizadas, contudo são insatisfatórias, dado que muitos poiquilotérmicos podem atingir temperaturas muito elevadas.

Os animais poiquilotérmicos são aqueles animais cuja temperatura corporal tende a flutuar mais ou menos com a do ambiente. Estes animais não revelam mecanismos fisiológicos capazes de manter a temperatura corporal independente da temperatura ambiente ou estes são muito limitados. Contudo, eles fazem uso de métodos comportamentais para evitar alterações bruscas na sua temperatura corporal (ex.: o lagarto aquece-se sobre uma rocha exposta ao sol, no início da manhã, contudo nas horas de maior radiação solar, ele esconde-se para evitar a hipertermia). Assim sendo, fazem parte deste grupo de animais os peixes, os répteis e os anfíbios.

Os animais homeotérmicos caracterizam-se por manter a temperatura corporal interna constante, dentro de um determinado intervalo de temperaturas ambientais, por meio de produção de calor da elevada taxa metabólica e controlando a produção e a dissipação de calor.

Alguns dos animais classificados à partida como poiquilotérmico demonstraram ter um maior controlo sobre a sua capacidade termorreguladora, e alguns homeotérmicos evidenciam uma grande amplitude na sua temperatura corporal. Desta forma, surge uma segunda designação, em que, segundo a fonte de calor, os animais são classificados em ectotérmicos e endotérmicos.

Os animais ectotérmicos produzem calor metabólico em proporções muito reduzidas e apresentam uma elevada condutância térmica, não conseguindo elevar a sua temperatura

corporal acima da temperatura ambiente dependendo quase por inteiro de fontes de calor externa. Assim, o intercâmbio de calor com o meio envolvente é muito mais importante para determinar a temperatura corporal de um ectotérmico, do que a produção de calor metabólico.

Os animais endotérmicos são animais que geram o seu próprio calor, e normalmente a sua temperatura corporal encontra-se acima da temperatura ambiente. Eles produzem calor metabólico em grandes proporções, e muitos apresentam uma condutividade térmica dos tecidos relativamente baixa, ou seja, possuem um bom isolamento térmico, o que lhes proporciona a conservação do próprio calor, verificando-se um acentuado gradiente térmico com o ambiente. Os mamíferos e as aves são exemplos de animais endotérmicos homeotérmicos, dos quais os bovinos fazem parte.

Apesar dos homeotérmicos caracterizarem-se por manter a sua temperatura constante, esta pode sofrer pequenas oscilações, resultantes da atividade física e da temperatura ambiente à qual o animal se encontra sujeito (Aschoff *et al.*, 1974).

A atividade de termorregulação dos animais endotérmicos está inevitavelmente ligada ao ambiente térmico. Este conceito traduz o impacto térmico global do meio ambiente sobre o animal. Os seres vivos estão em cada momento sujeitos a um conjunto particular de parâmetros climáticos com influência nos processos de produção e dissipação de calor. A temperatura do ar é um dos principais fatores climáticos, contudo a humidade relativa, a precipitação, a velocidade do vento e a radiação solar, atuam como co-fatores que atenuam ou reforçam o efeito da sensação térmica do animal. O efeito conjugado destes parâmetros produz um impacto térmico no organismo, desencadeando-se uma resposta animal a fim de manter a homeotermia.

A temperatura do ar determina o gradiente térmico entre o corpo do animal e o ambiente influenciando as trocas por calor sensível. Segundo Harris *et al.*, (1960), este é o fator que mais interfere na variação da temperatura corporal e na taxa de respiração, e como tal, no conforto animal.

A humidade relativa influencia o ambiente térmico, em particular com teores elevados de humidade do ar. Nestas condições, a dissipação do calor do animal por evaporação é limitada. Este fenómeno pode ter efeitos negativos em ambiente quente, limitando o esforço de dissipação de calor do organismo, como repercussões na diminuição da temperatura de conforto animal. Com baixas temperaturas do ar, a humidade relativa pode provocar a

diminuição do isolamento térmico dos animais, nomeadamente se a pelagem ficar encharcada, podendo ter efeitos negativos na temperatura mínima de conforto do animal, uma vez que aumenta as trocas de calor.

A velocidade do ar é um fator muito importante nas trocas de calor corporal. O aumento desta provoca um incremento das perdas de calor por via sensível, nomeadamente por convecção, mas também por via latente (perdas evaporativas). Este efeito conduz, respetivamente, ao aumento da temperatura mínima e máxima do intervalo de neutralidade térmica, acelerando as perdas de calor com o tempo frio, e aumentando a dissipação de calor com o tempo quente. Logo, a influência da velocidade do ar na temperatura ambiente faz com que o intervalo de temperaturas seja deslocado para valores mais elevados de temperaturas ambiente.

A radiação solar é de extrema importância em animais ao ar livre em pastoreio ou confinados, pois exerce uma contribuição suplementar positiva de energia, sendo sentida em forma de calor ao nível da superfície do animal, influenciando os processos de produção e dissipação de calor. Nestas condições, permite ao organismo suportar sem desconforto temperaturas ambientais mais baixas. Quando a temperatura do ar é elevada, os ganhos de calor por radiação podem conduzir ao desconforto térmico, podendo dificultar e comprometer a termorregulação.

A precipitação reduz o isolamento térmico da pelagem, uma vez que o seu encharcamento diminui o volume de ar existente entre os pelos devido ao seu colapso, reduzindo a espessura da pelagem. Por outro lado, a substituição do ar por água reduz o isolamento da pelagem, pois a água apresenta maior condutividade térmica ( $0,6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) do que o ar sem transporte por convecção ( $0,023 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). Deste modo, quando a temperatura do ar é baixa, a redução do isolamento da pelagem devido à precipitação prejudica a conservação de calor por parte do animal. Com temperaturas do ar elevadas a redução do isolamento devido à precipitação facilita a dissipação do calor. Alguns autores estudaram os efeitos da chuva nas trocas de calor em bovinos e ovinos (Blaxter *et al.*, 1964; Joyce *et al.*, 1966; Alexander, 1974; Holmes e MacLean, 1975), evidenciando o efeito aditivo do vento e da precipitação na redução do isolamento externo.

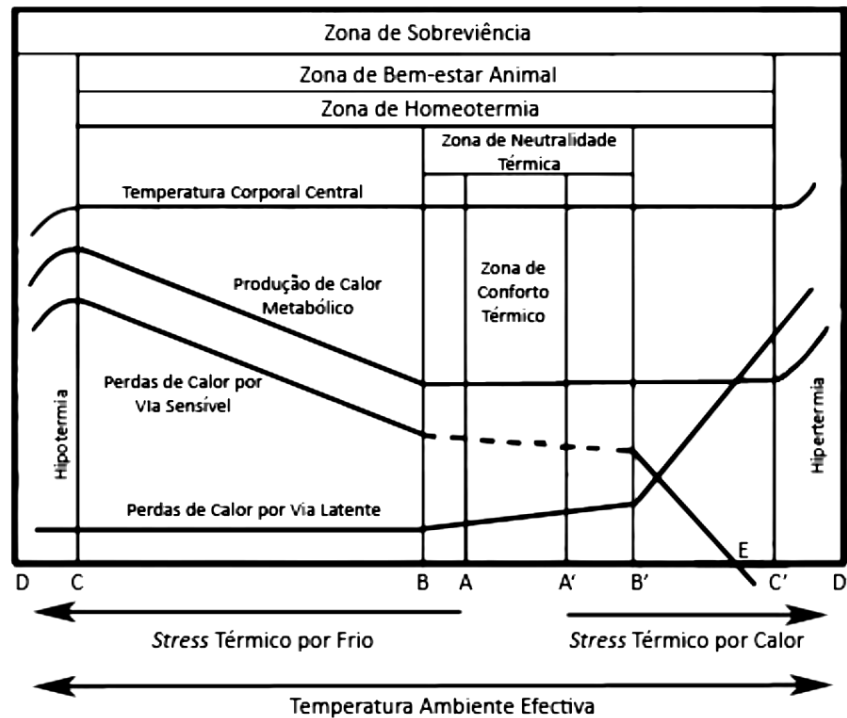


Figura 1 — Representação esquemática da relação entre a temperatura corporal, produção/dissipação de calor e das condições ambientais críticas de sobrevivência de um animal (Adaptado de Mount, 1974 e Silanikove, 2000).

A Figura 1 mostra uma representação esquemática da relação entre a temperatura ambiente efetiva, a temperatura corporal, a produção de calor e a zona sobrevivência animal.

A temperatura efetiva é um índice calculado que engloba num valor único o efeito da temperatura do ar, da humidade relativa, da radiação e/ou da velocidade do ar. Ela reflete a facilidade com que a produção de calor animal é perdida para o meio ambiente, considerando todos os mecanismos de dissipação de calor (condução, convecção, radiação e evaporação). Também pode ser entendida como a temperatura, na qual o ar saturado imóvel, induziria num animal a sensação semelhante ao do conforto induzido pelas condições reais da temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar (CIGR, 2009).

A zona de neutralidade térmica (ZNT), representada na Figura 1 pelo intervalo BB', é caracterizada pelo intervalo de temperatura ambiente efetiva onde a quantidade de calor produzido é mínima e constante, para um determinado nível alimentar (Souto, 2006). Nas definições de IUPS Thermal Commission (2001) e de CIGR (2009), a zona de neutralidade térmica é descrita como o intervalo da temperatura ambiente na qual a regulação da temperatura corporal é alcançada apenas pelo controlo da perda de calor sensível. Ou seja, sem mudanças na regulação da produção de calor metabólico ou a perda de calor por

evaporação, e onde metabolismo normal fornece calor suficiente para manter temperatura corporal constante. A ZNT é diferente quando o isolamento, postura ou taxa metabólica basal variam. A terminologia ZNT não se aplica aos animais ectotérmicos (IUPS Thermal Commission, 2001).

Alguns autores consideram ainda uma zona de conforto térmico como uma subdivisão da ZNT, representada pelo intervalo AA'. Dentro desta zona, os esforços enérgicos e fisiológicos de termorregulação (principalmente a vasodilatação dos vasos sanguíneos periféricos) são mínimos, a saúde do animal é ótima, e a taxa de crescimento e produção de leite são maximizadas (Bianca, 1968). O CIGR (2009) define esta zona com aquela em que a variação de temperatura ambiente, associada com uma determinada temperatura média radiante, humidade relativa e velocidade do ar, o animal está satisfeito com o ambiente térmico. Segundo Curtis (1983), esta zona pode ser descrita experimentalmente como aquelas condições térmicas que o animal escolheria se lhe permitissem. É o intervalo onde o animal tem condições de conforto térmico para expressar o seu potencial de produção, onde não sofre *stress* térmico por frio nem por calor.

O conceito de ZNT é uma forma conveniente para descrever esquematicamente as interações entre um animal e ambiente. O ponto mais baixo e o mais alto do intervalo da temperatura ambiente crítica definem os limites da ZNT (Robertshaw, 1981). A definição do ponto crítico inferior é precisa e inequívoca, enquanto o ponto crítico superior pode ser definido de várias formas (Mount, 1974). A temperatura ambiente, abaixo do qual a taxa de produção de calor de um homeotérmico em repouso aumenta para manter o equilíbrio térmico, é a temperatura crítica inferior,  $T_{ci}$  (ponto B). A temperatura crítica superior,  $T_{cs}$  (ponto C'), pode ser definida como a temperatura ambiente quando: a - aumenta a taxa metabólica, b - aumenta a perda de calor por evaporação, ou c - o isolamento térmico do tecido é mínimo. A definição da  $T_{cs}$  em condições naturais, de acordo com as alíneas a e c é muito difícil. Estes critérios podem ser medidos em câmaras climáticas, mas é duvidoso que os resultados sejam aplicáveis a situações externas, pois, nas câmaras, os ciclos diurnos e sazonais do clima não prevalecem e os efeitos da radiação não são considerados (Silanikove, 2000).

Alguns investigadores escolheram para definir a  $T_{cs}$  dos bovinos como sendo o ponto onde o aumento da perda de calor por evaporação ocorre através do incremento da taxa de respiração (Berman *et al.*, 1985; Igono *et al.*, 1992). No entanto, a sudorese e aumento da taxa de respiração pode ser ativados de forma independente e, para as vacas, a secreção de suor é

ativada antes do aumento da taxa de respiração. Além disso, a sudorese em vacas leiteiras, aparentemente, é ativada a temperaturas bastante baixas (12 a 14 °C), que são consideradas dentro da zona de neutralidade térmica (Silanikove *et al.*, 1997).

Não há uma concordância absoluta entre os pesquisadores acerca dos limites da ZNT. Hahn (1999) e Nääs (1989) referem o valor de 4 °C para a  $T_{ci}$ , enquanto Rémond e Vermorel (1982) apontam para o valor de 0 °C. Em relação à  $T_{cs}$ , Hahn (1999) e Nääs (1989) mencionam 24 °C, e Rémond e Vermorel (1982) indicam 25 °C. De salientar também que a autora Nääs, também assinala que para vacas em lactação, aquele intervalo de temperaturas pode restringir-se aos limites entre os 7 °C e os 21 °C, dependendo os valores de humidade relativa e radiação solar. Berman *et al.* (1985) estabelece o intervalo de neutralidade térmica entre 5 °C e os 21 °C para vacas Holstein, estendendo-se a 24 °C para vacas das raças *Jersey* e *Brown-Swiss*, e até 29 °C para raças tropicais, sem prejuízo da produção animal.

Os fatores envolvidos para estabelecimento da ZNT são muitos, nomeadamente a espécie, a raça, o sexo, a fase de crescimento, a atividade física, a condição corporal, a fase de lactação, fase reprodutiva, o nível de produção de leite, a genética do animal, o nível alimentar, fatores climáticos (temperatura do ar, humidade relativa, radiação e velocidade do vento), entre outros.

## 1.2. Processos de transferência de calor

A capacidade de termorregulação dos endotérmicos homeotérmicos baseia-se em mecanismos fisiológicos e comportamentais de dissipação e conservação de calor, assim como da elevada taxa de calor metabólico produzido e da relativa baixa condutância térmica dos seus tecidos.

O balanço térmico em animais ao ar livre pode ser traduzido pela equação (1), em que  $Q_M$  é o calor metabólico produzido pelo animal, HS o calor acumulado, K o fluxo de calor por condução,  $C_{cv}$  o fluxo de calor por convecção, R o fluxo de calor por radiação e E o fluxo de calor por evaporação. Assim, dentro de certos limites ambientais, considerando-se que não se verifica acumulação de calor interno ( $HS = 0$ ), o balanço térmico entre a quantidade de calor metabólico produzido ( $Q_M$ ) e a quantidade de calor dissipado ( $K + C_{cv} + R + E$ ) tende para a igualdade.

$$Q_M = (HS + K + C_{cv} + R + E) \quad (1)$$

A dissipação do calor é efetuada sob 2 vias, a sensível e a latente. A condução, a convecção e a radiação constituem os processos de transferência de calor da via sensível e requerem um gradiente térmico para que ocorram. Segundo Shearer e Beede (1990), dentro da ZNT esses mecanismos correspondem a 75 % das perdas de calor. Quando a temperatura ambiente se eleva, aproximando-se da temperatura corporal, o gradiente térmico diminui reduzindo a eficiência das perdas de calor sensível, e intensificando as transferências de calor por processos evaporativos. As transferências de calor sensível ( $Q_s$ ) podem ser expressas pela seguinte equação:

$$Q_s = \frac{T_b - T_a}{R_{ts}} \quad (2)$$

Onde  $T_b$  expressa a temperatura absoluta corporal,  $T_a$  a temperatura absoluta do ar e  $R_{ts}$  a resistência térmica total à transferência do calor sensível.

As trocas por condução verificam-se quando o animal se encontra em contacto direto com uma superfície, sendo necessário um gradiente térmico entre os dois corpos. Por exemplo, quando o animal está deitado no chão ou quando está encostado a uma parede. O fluxo de calor ocorre diretamente através da diferença de temperaturas entre o animal e a superfície de contacto, dependendo da área em contacto com essa superfície, e da condutividade térmica daquele material. As trocas de calor por condução ( $K$ ) podem ser expressas pela equação (3):

$$K = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{sc}} \quad (3)$$

Onde  $T_1$  e  $T_2$  são as temperaturas absolutas em dois pontos, e  $R_{sc}$  a resistência térmica da superfície de contacto, dada pela equação (4)

$$R_{sc} = \frac{\ell}{\lambda} \quad (4)$$

Onde,  $\ell$  é a espessura e  $\lambda$  a condutividade térmica do material da superfície de contacto.

A equação (5) dá-nos as transferências de calor por condução ( $Q_{cd}$ ):

$$Q_{cd} = A_{cd} \frac{1}{R_t + R_p} (T_b - T_a) \quad (5)$$

Em que  $A_{cd}$  é a área da superfície de contacto,  $R_t$  a resistência térmica dos tecidos periféricos,  $R_p$  a resistência térmica do pavimento,  $T_a$  a temperatura absoluta do ar,  $T_b$  a temperatura corporal absoluta.

As trocas de calor por convecção realizam-se quando há transferência de calor do corpo do animal para um fluido (ex.: água ou ar), em que o fluido terá de estar a uma temperatura inferior. Nestas condições, verifica-se que a camada limite de ar em contacto com a pele é aquecida por condução, diminuindo a densidade do fluido, que se torna mais leve. Deste modo, o ar sobe, dando origem a correntes de convecção. Como o ar frio é mais pesado, a camada de ar mais próxima do animal está constantemente a ser renovada, favorecendo-se, assim, a perda de calor corporal. A equação (6) descreve, de forma geral, a transferência de calor por convecção ( $Q_{cv}$ ):

$$Q_{cv} = \frac{Nu K_a}{d} (T_c - T_a) \quad (6)$$

Onde Nu é número de Nusselt, que determina a relação entre a dimensão característica de um cilindro (diâmetro) e uma espessura imaginária de ar em volta do cilindro, equivalente à espessura da camada limite. O valor de  $K_a$  é a condutividade térmica do ar circundante, o qual sofre um aumento quase linear de  $1,3 \text{ mW m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  por cada grau centígrado de aumento da temperatura, entre 0 e  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  (Hammel, 1955). O valor d representa o diâmetro característico do animal,  $T_c$  a temperatura absoluta da superfície da pelagem e  $T_a$  a temperatura absoluta do ar.

O cálculo do número de Nusselt é realizado com base nas condições de movimentação do ar ambiente, pelas equações (7) e (8), que caracterizam, respetivamente, as condições de convecção forçada e convecção natural.

$$Nu = B Re^m \quad (7)$$

$$Nu = C Gr^n \quad (8)$$

Sendo B e m constantes empíricas que dependem do valor de Reynolds (Re), e C e n constantes empíricas que dependem do valor de Grashof (Gr). Os números de Reynolds e Grashof podem ser calculados, respetivamente pelas equações (9) e (10):

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (9)$$

$$Gr = \frac{g a d^3 \rho^2 (T_c - T_a)}{\nu^2} \quad (10)$$

Onde g representa a aceleração da gravidade, a o coeficiente de expansão térmica do ar, d a dimensão característica do animal,  $\rho$  a massa volúmica do ar,  $\nu$  a viscosidade cinemática do ar

Quadro 1 — Constantes empíricas do número de Reynolds (Re), B e m, obtidas por vários autores em condições de ventilação forçada (Souto, 2006).

B	M	Intervalo de Re	Observações	Autor
0,65	0,53	$0 < Re < 1,5 \times 10^5$	cilindro com pelo de vaca	Wiersma e Nelson (1967)
0,029	0,80	$2 \times 10^4 < Re < 3 \times 10^5$	cilindro com velo de ovelha	McArthur e Monteith (1980)
0,154	0,627	$4 \times 10^3 < Re < 4 \times 10^4$	cilindro sem pelos	Fand e Keswani (1973)
0,025	0,789	$4 \times 10^4 < Re < 4 \times 10^5$	cilindro sem pelos	Fand e Keswani (1973)

( $v = 1,41 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para  $T_a = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $T_c$  e  $T_a$  representam respetivamente a temperatura da superfície da pelagem e do ar, e  $v$  a velocidade do ar.

As constantes B e m da equação (7) foram estudadas utilizando cilindros com e sem cobertura de pelos por vários autores, e foram reunidas no Quadro 1.

Enquanto as constantes C e n do número de Nusselt da equação (8), que dependem da geometria do cilindro e da magnitude de Gr, estão reunidas no Quadro 2.

Quadro 2 — Constantes empíricas do número de Grashof, C e n, obtidas por vários autores em condições de convecção natural (Souto, 2006).

C	N	Intervalo de Gr	Observações	Autor
0,48	0,25	$10^4 < Gr < 10^9$	----	Monteith (1973)
6,85	0,137	$0,2 \times 10^8 < Gr < 1 \times 10^8$	cilindro com pelo de vaca	Wiersma e Nelson (1967)

A convecção pode ser natural ou forçada. A convecção natural ocorre quando o fluido (ex.: ar) se movimenta apenas numa única direção, devendo-se isto à diminuição da densidade do ar durante o aquecimento. Se o movimento do fluido for desencadeado por um meio externo (ex.: vento, ventilador), a convecção designa-se forçada (Mimoso, 1987).

Em condições de ventilação reduzida, a convecção natural pode-se transformar num meio preferencial de transferência de calor nos animais estabulados, ou quando ao ar livre, se a velocidade do vento for reduzida.

O número de Nusselt, na equação (8), depende, neste caso, do número de Grashof (Gr). Por sua vez, Gr é um valor adimensional que pode ser obtido pela equação (10), ou, de acordo com Monteith (1973), pela equação (11):

$$Gr = 158 \times 10^6 d^3 (T_c - T_a) \quad (11)$$

Onde  $d$  é a dimensão característica do animal,  $T_c$  a temperatura absoluta da superfície da pelagem, e  $T_a$  a temperatura absoluta do ar.

A respiração é outro processo de transferência de calor sensível por convecção, dado que o ar inspirado a uma temperatura inferior à temperatura interna sofre um aquecimento progressivo aquando da inspiração e, ao ser expirado vai perdendo calor, por contacto com as vias respiratórias mais externas. Contudo, as perdas de calor através da convecção respiratória só em casos muito esporádicos é que constituem uma componente importante nas despesas energéticas do animal (Mitchell, 1974).

As trocas por radiação desempenham um papel importante no equilíbrio térmico dos animais, sobretudo nos animais ao ar livre, que se encontram sujeitos à radiação solar de curto comprimento de onda (c.c.o) e de longo comprimento de onda (l.c.o).

O animal pode receber radiação solar de curto comprimento de onda de forma direta, difusa ou ainda refletida pelas superfícies envolventes, como o solo, a vegetação, paredes, etc. Já a radiação solar de longo comprimento de onda, designada também por radiação infravermelha ou térmica, é emitida pela maioria das superfícies naturais, como o revestimento animal e as partículas em suspensão na atmosfera (vapor de água, dióxido de carbono, azoto e poeiras), e depois de absorvida pelas mesmas (Souto, 2006).

Através da radiação, os animais captam e dissipam calor consoante o gradiente térmico existente entre o animal e o meio ambiente envolvente.

A radiação emitida pelo animal em estabulação, não beneficiando de radiação solar direta, normalmente excede a radiação recebida proveniente da envolvente dos alojamentos, daí resultando uma perda líquida de energia por radiação (Clark e McArthur, 1994).

Para animais confinados em alojamentos, as transferências de calor por radiação ( $Q_R$ ) podem ser expressos pela equação (12):

$$Q_R = \frac{A_R \sigma (T_s^4 - T_{es}^4)}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{A_R}{A_e} \left( \frac{1}{\epsilon_e} - 1 \right)} \quad (12)$$

Onde,  $\sigma$  representa a constante de Boltzmann,  $T_s$  a temperatura absoluta da superfície do animal,  $T_{es}$  a temperatura absoluta média das superfícies envolventes,  $\epsilon_c$  a emissividade do animal,  $\epsilon_e$  a emissividade média das superfícies envolventes,  $A_R$  a área de radiação da superfície corporal e  $A_e$  a área das superfícies envolventes.

Um animal ao ar livre é aquecido durante o dia por radiação solar de c.c.o., cujo fluxo de radiação depende da área de exposição do animal, da latitude, da hora do dia, da época do ano, da cor da pelagem, e da refletância das superfícies envolventes.

Os animais de pelagem de cor escura absorvem a maioria da radiação solar incidente, enquanto os animais de pelagem clara refletem quase toda a radiação solar incidente. A orientação adotada em relação ao sol também é importante, pois assim podem exercer algum controle sobre a área corporal exposta à radiação. Em ambientes quentes a radiação solar mostra-se desvantajosa, uma vez que induz a um aumento da temperatura corporal. Porém, em ambientes frios esta revela-se extremamente benéfica e vantajosa.

A evaporação é definida como um processo de trocas de calor latente, cujo fluxo é causado por um gradiente de pressão de vapor. Em situações de temperaturas ambientais elevadas, a partir dos 29 °C, cerca de 80 % do calor é dissipado pela via latente, e no geral, sempre que a temperatura ultrapassa os 21 °C, esta torna-se a via principal de dissipação de calor (Shearer e Beede, 1990). Se as condições ambientais ultrapassarem a temperatura corporal, o fluxo de calor é revertido e o animal torna-se no recetor de calor. Segundo Rosemberg *et al.* (1983), a forma latente de trocas de calor constitui o principal mecanismo de dissipação de calor (energia) em ambientes quentes. A respiração e sudação são as formas evaporativas utilizadas por esse mecanismo de transferência de calor.

Nos processos de troca de calor latente inicialmente ocorre movimentação de água no interior do corpo do animal até alcançar a epiderme, em taxa que depende do gradiente de pressão de vapor. A seguir ocorre a difusão do vapor de água para o ambiente a partir da pele e dos pulmões. A perda de calor ocorre na conversão para vapor, tanto do suor secretado pelas glândulas da pele como da humidade proveniente do trato respiratório (Curtis, 1983). Este mecanismo justifica a importância da humidade relativa em ambientes caracterizados com temperatura do ar elevada. Quanto maior a humidade relativa, menor será o gradiente de pressão de vapor, o que reduz a eficiência dos mecanismos evaporativos, diminuindo a evaporação da água pela pele e trato respiratório.

As transferências de calor latente ( $Q_e$ ) são divididas em fluxo de transferência de calor latente por evaporação através da superfície cutânea ( $E_p$ ) e através do trato respiratório respiratórias ( $E_r$ ) e podem ser descritas pela equação (13):

$$Q_e = E_p + E_r = \frac{e_p - e_a}{Z_{ep}} + \frac{e_r - e_a}{Z_{er}} \quad (13)$$

Onde  $e_p$ ,  $e_a$  e  $e_r$  representam, respetivamente, a pressão de vapor na superfície da pele, do ar e do trato respiratório;  $Z_{ep}$  e  $Z_{er}$  representam, respetivamente, a impedância à transferência de calor por via evaporativa na superfície da pele e no trato respiratório (Mount, 1979).

### 1.3. O *stress* térmico e as respostas fisiológicas

O *stress* térmico define-se como a combinação de variáveis ambientais que dão origem a condições fora do intervalo de ZNT do animal. Assim, apesar dos animais poderem sofrer de *stress* térmico por frio, são as temperaturas elevadas associadas às altas humidades do ar e à radiação solar, os principais elementos climáticos que provocam o *stress* térmico por calor, e causadores da diminuição na taxa de crescimento, na produção de leite e das falhas reprodutivas.

Quanto aos mecanismos fisiológicos de termorregulação, estes diversificam-se e dependem das condições do ambiente térmico em que o animal está inserido. Os bovinos possuem mecanismos fisiológicos que lhes permitem controlar a temperatura corporal dentro de determinados limites ambientais, podendo ser classificados de curto e longo prazo. Os mecanismos de curto prazo caracterizam-se, contrariamente aos de longo prazo, por desenvolverem uma resposta momentânea e imediata no balanço térmico animal. Assim, são exemplos destes mecanismos a vasodilatação, a vasoconstrição, a sudação, a taxa de respiração, a piloereção e os tremores de frio.

Os mecanismos vasoconstrição - vasoconstrição e venoconstrição periférica, bem como aumento da viscosidade do sangue - verificam-se com o tempo frio, onde há redução da irrigação sanguínea periférica, para assim, diminuir as perdas de calor superficiais e manter a temperatura dos órgãos vitais. Estes funcionam como uma primeira resposta fisiológica ao desconforto térmico, e à medida que a temperatura ambiente se aproxima da temperatura crítica inferior,  $T_{ci}$  (ponto B), como se pode verificar na Figura 1, há uma intensificação dos mecanismos de vasoconstrição, que visa a conservação de calor corporal.

Ao mesmo tempo, alguns mamíferos podem desenvolver uma resposta temporária de ereção dos pelos, designada de piloereção, que resulta da intensificação dos mecanismos da vasoconstrição cutânea (Habeb *et al.*, 1992), em que ar fica retido no espaço entre os pelos, elevando, desta forma, o isolamento térmico e reduzindo as trocas de calor por condução e convecção.

Quando a  $T_{ci}$  é atingida, os mecanismos fisiológicos de termorregulação, anteriormente referidos, são insuficientes para manter a homeotermia. Desta forma. Entram em funcionamento mecanismos de produção de calor adicional, em que ocorre aumento da taxa metabólica, e conseqüentemente, maior despesa energética de conservação suplementar, e ainda, modificações hormonais (regulação química), que visam elevar os processos de mobilização das reservas energéticas. Segundo a terminologia de Webster (1976), o aumento da termogênese é composto por dois mecanismos distintos, a termogênese somática e a termogênese autônoma.

A termogênese somática ou *shivering thermogenesis* (também vulgarmente conhecida por tremores de frio) é uma resposta involuntária do organismo quando o animal se encontra num ambiente térmico abaixo da temperatura crítica inferior. Este mecanismo é controlado pelo sistema nervoso somático, onde se verifica a contração rítmica e involuntária das miofibrilas dos músculos esqueléticos, não ocorrendo movimento voluntário nem trabalho externo (Le Dividich *et al.*, 1992). A ativação de grupos antagonistas de músculos esqueléticos dá origem à libertação da adenosina trifosfato (ATP), que por hidrólise fornece a energia necessária para as contrações. Devido à natureza dos tremores, não há produção de trabalho físico, e, assim, a energia química liberta-se sob a forma de calor (Eckert, 1988), promovendo o aquecimento corporal do animal. Este mecanismo é extremamente importante em condições de frio, como método de termorregulação corporal, e o substrato principal para a sua ocorrência é composto por ácidos gordos não esterificados, que são libertados do tecido adiposo branco por ação das fibras nervosas simpáticas, que são ativadas pela permanência ao frio (Himms-Hagen, 1972).

A termogênese autônoma ou *non-shivering thermogenesis* é ativada pelo sistema nervoso autônomo sem que haja contração muscular. Esta consiste na mobilização de reservas do tecido adiposo castanho, o qual é densamente rico em mitocôndrias, ricas em cristas e citocromos castanhos da cadeia respiratória, e muito vascularizada, resultando numa forma de produção de calor mais eficiente (Maynard *et al.*, 1979) que a anterior. A ativação do sistema nervoso autônomo simpático promove a libertação de noradrenalina que, ao atuar nos adipócitos, desencadeia a hidrólise desses depósitos de gordura, o que permite que a energia de oxidação seja dissipada em forma de calor e não seja usada para a produção de ATP, conduzindo assim à libertação de uma maior fração de calor (Eckert, 1988). É conhecida a existência de depósitos de tecido adiposo castanho em recém-nascidos de algumas espécies,

tais como vitelos e cordeiros (Alexander, 1974; Alexander *et al.*, 1975; Le Dividich *et al.*, 1992), assim como em animais adultos hibernantes.

Assim sendo, verifica-se que fora da zona da neutralidade térmica, abaixo da  $T_{ci}$ , o ponto B na Figura 1, o organismo aumenta a produção de calor acima dos níveis basais, de forma a compensar a perdas de calor, zona (BC), designada também de regulação metabólica (Bregelmann e Brown, 1965; Eckert, 1988). A taxa metabólica tende a aumentar linearmente com o decréscimo da temperatura ambiente até atingir um limite, *summit metabolism* (Fuller, 1969), a partir do qual não é possível manter a homeotermia, passando o organismo a um estado de hipotermia (zona DC). A hipotermia resulta de perda excessiva de calor devido ao frio intolerável ou da depressão na produção de calor devido à fome (Le Dividich *et al.*, 1992). Se o animal permanecer nestas condições extremas por muito tempo, sem aumentar a ingestão de alimentos de forma a incrementar a produção de calor e, deste modo, obter uma diminuição na  $T_{ci}$ , este pode acabar por morrer.

Quanto aos mecanismos de controlo da temperatura corporal a longo prazo, para fazer face ao tempo frio, são o incremento do tecido adiposo subcutâneo que aumenta a resistência térmica tecidual, e uma maior espessura da pelagem e da sua qualidade, pois, quanto mais densa e lanosa, maior será o isolamento térmico.

Quando a temperatura ambiente aumenta, desencadeiam-se processos fisiológicos que visam facilitar a dissipação do calor corporal. A vasodilatação – vasodilatação, venodilatação periférica e diminuição da viscosidade do sangue – ocorre assim como uma resposta primária face ao aumento da temperatura ambiente, fazendo com que o fluxo sanguíneo seja mais periférico e haja uma diminuição do grau de isolamento térmico, aumentando, assim, as perdas de calor à superfície da pele. A capacidade de sudação, que nos bovinos não é tão desenvolvida como no cavalo e no homem, funciona também como uma resposta primária de arrefecimento evaporativo.

A dissipação de calor pela via sensível vai perdendo significância à medida que a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal, acabando por ser nula quando deixa de existir um gradiente térmico entre as 2 temperaturas (ponto E, Figura 1). Em contrapartida, as perdas de calor pela via latente (evaporação) elevam-se através da sudação e aumento da taxa de respiração (zona B'C'). Contudo, a capacidade de dissipação evaporativa do calor nos animais é limitada, e assim a partir de uma determinada temperatura –  $T_{cs}$  (ponto C') – a temperatura corporal sobe, e o animal entra num estado de hipertermia (zona C'D'). Nestas condições, desencadeiam-se respostas fisiológicas e neuro-hormonais a fim de ocorrer

uma diminuição da produção, reduzindo ao mínimo o incremento calórico e com o objetivo de restabelecer-se o balanço térmico.

No caso de se verificar uma temperatura ambiente ligeiramente superior à  $T_{cs}$ , o animal pode ainda ter controlo sobre a sua temperatura corporal, ainda que num nível superior à temperatura normal, sem pôr em riscos os mecanismos vitais. Ou seja, o animal encontra-se em hipertermia controlada (Kleiber, 1961).

A partir de uma determinada temperatura ambiente, o aumento exponencial do metabolismo em consequência do esforço respiratório ou do balanço calórico positivo, coloca em riscos os mecanismos celulares, e conseqüentemente, todo o funcionamento básico e vital do animal, o que conduz à sua morte (Clark e McArthur, 1994).

### **1.3.1. As respostas hormonais – o cortisol**

Quando os animais se encontram em situações de desconforto térmico são desencadeados processos fisiológicos e comportamentais que visam retomar a homeostasia. É conhecido também a importância das respostas hormonais na termorregulação corporal quando os animais estão sujeitos a *stress* térmico. Nestas condições, os níveis e o controlo da secreção de determinadas hormonas são afetados. As hormonas associadas à adaptação dos animais ao *stress* por calor são numerosas, referenciando-se aqui apenas aquela em estudo: o cortisol.

A ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) é talvez a resposta mais importante dos animais às condições de *stress* térmico por calor, onde o hipotálamo é estimulado a libertar a hormona de libertação de corticotrofina (CRH), que atua na hipófise anterior para libertar a hormona adrenocorticotrópica (ACTH). Esta estimula o córtex adrenal a produzir glucocorticoides, verificando-se, conseqüentemente, o aumento da concentração plasmática destes. Os glucocorticoides adrenais, principalmente o cortisol, provocam ajustes fisiológicos que permitem os animais tolerar condições térmicas adversas (Christison e Johnson, 1972).

Os trabalhos de investigação realizados sobre os efeitos do clima quente nos níveis de cortisol plasmático nos bovinos não são consensuais. Em alguns estudos, o *stress* térmico aumentou os níveis de glucocorticoides plasmáticos (Alvarez, 1968; Satterlee *et al.*, 1977.), e noutros eles diminuíram significativamente (Lee *et al.*, 1976; Niles *et al.*, 1980; Collier *et al.*, 1982a ; Kamal *et al.*, 1989a, b) ou não foram afetados significativamente (Gwazdauskas e

Vinson, 1979; El-Nouty *et al.*, 1980). Alvarez e Johnson (1973) verificaram um aumento nos níveis de glucocorticoides de 2,4 para 3,9  $\mu\text{g } 100 \text{ ml}^{-1}$  (62 %) em 2 horas de exposição ao calor, o qual atingiu um pico de 5,4  $\mu\text{g } 100 \text{ ml}^{-1}$  (120 %) em 4 horas, tendo diminuiu gradualmente até o valor considerado normal 2,4 $\mu\text{g } 100 \text{ ml}^{-1}$  às 48 horas, e permaneceu nesse nível apesar do estímulo do calor continuar. Em animais expostos a temperaturas de 35 °C, Christison e Johnson (1972) verificaram que, após 20 minutos, a concentração de cortisol no plasma sanguíneo aumentou de 30 para 37  $\text{mg l}^{-1}$ , para alcançar finalmente, depois de 2 a 4 horas, um valor estável de 43  $\text{mg l}^{-1}$ . No entanto, após longos períodos de exposição ao calor, os animais ajustaram a secreção de cortisol. Respostas semelhantes foram encontradas por Abilay *et al.* (1975) com novilhos da raça *Holstein*, que também relataram a existência de uma estreita relação entre a concentração de cortisol no plasma sanguíneo, temperatura retal e ambiente. Assim sendo, a secreção de cortisol estimula adaptações fisiológicas que permitem que o animal tolere o *stress* causado pelo calor excessivo (Christison e Johnson, 1972). Dantzer e Mormede (1983) relataram que os níveis de cortisol também aumentaram quando os animais foram expostos ao frio. No entanto, após um período de aclimação, aqueles valores mantiveram-se constantes em relação ao normal, ao contrário do que acontece no *stress* térmico por calor. Aqueles autores constataram que as mudanças de temperatura eliminam gradualmente as alterações bruscas na concentração de cortisol, sendo estas mudanças graduais.

As concentrações basais de cortisol variam muito e, assim, os valores não poderão ser indicadores confiáveis da habilidade do animal em adaptar-se a curto prazo (*stress* agudo) ou longa duração (*stress* crónico) a condições térmicas adversas (Willet e Erb, 1972; Rudson *et al.*, 1975). Entretanto, pode ser concluído que os níveis de cortisol plasmático aumentaram durante o *stress* térmico agudo e diminuíram durante a fase crónica. O aumento do nível de cortisol plasmático durante o *stress* térmico agudo é atribuído ao facto de que os glucocorticoides terem uma ação hiperglicémica para aumentar a gliconeogénese e proporcionar o aumento esperado na utilização de glicose em animais sob *stress* pelo calor. No entanto, é possível considerar que as reações iniciais dos animais na fase de *stress* agudo funcionam mais como uma resposta emocional do que uma resposta termorreguladora (Collins e Weiner, 1968). O declínio que ocorre no *stress* térmico crónico é atribuído ao facto do cortisol ser termogénico nos animais e, conseqüentemente, a redução da atividade adrenocortical sob *stress* térmico ser um mecanismo preventivo de termorregulação para impedir a produção metabólica de calor em ambientes quentes (Alvarez e Johnson, 1973).

Os glucocorticoides trabalham como vasodilatadores para ajudar a perda de calor e, ainda, tem efeito estimulante sobre a glicogenólise, proteólise e a lipólise, ajudando no fornecimento de energia ao animal, para compensar a redução do consumo de matéria seca (Cunningham e Klein, 2007). Há, assim, alterações nas funções vegetativas para o restabelecimento do equilíbrio, como também são mobilizados e distribuídos substratos energéticos necessários durante o *stress*.

Os glucocorticoides têm uma grande responsabilidade na regulação basal do eixo HHA, bem como na extinção da resposta ao *stress* pela atuação de centros extra-hipotalâmicos, do hipotálamo e da hipófise, através de um sistema de *feedback* negativo (Charmandari *et al.*, 2005). Este *feedback* negativo sobre a secreção de CRH e ACTH serve para limitar a duração da exposição total dos tecidos do organismo aos glucocorticoides, minimizando o catabolismo, os efeitos lipogénicos, anti-reprodutivos e imunodepressores (Chrous e Gold, 1992; Habib *et al.*, 2001).

A resposta hormonal ao *stress* é desencadeada para ser de duração curta ou limitada. A ativação deste processo por longo prazo pode causar uma série de distúrbios, como anti-crescimento, anti-reprodutivo, catabólicos e imunodepressivos, que resultam do aumento e secreção contínua de CRH e glucocorticoides (Charmandari *et al.*, 2005).

### **1.3.2. Taxa de respiração**

O aumento na taxa de respiração tem como finalidade aumentar a perda de calor através do trato respiratório, sendo este um dos mecanismos mais importantes para manter o equilíbrio térmico quando as temperaturas estão mais elevadas. O aumento do número de movimentos respiratórios por unidade de tempo (*mr*), designado também por taquipneia ou polipneia, apesar de ser o primeiro sinal visível de resposta ao calor, em bovinos, ocorre apenas depois da vasodilatação periférica e do aumento da sudorese. Um aumento da taxa de respiração intensifica os processos de arrefecimento evaporativo. A evaporação da água presente do trato respiratório promove a dissipação do calor correspondente ao calor latente de vaporização (cerca de  $2400 \text{ J g}^{-1}$ ), dependendo, contudo, do volume de ar que circula por unidade de tempo nas superfícies húmidas, bem como do ritmo respiratório (Bianca, 1973).

Estima-se que por volta cerca de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  começa a registar um aumento na taxa de respiração, mas isso é uma resposta individual, que varia de acordo com raça e estado fisiológico de cada animal (Gaughan *et al.*, 1999). Quando o aumento da taxa de respiração

ocorre por um período curto, este é um processo eficiente para o animal libertar-se do excesso de calor. Ocorrendo durante períodos longos, este processo pode trazer problemas ao animal, interferindo na ingestão do alimento e na ruminação, verificando-se a produção de calor endógeno extra devido à atividade muscular aquando da taquipneia. Há o desvio da energia dos outros processos metabólicos, bem como a redução da capacidade de combinação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), uma vez que a ofegação aguda aumenta a perda de CO<sub>2</sub> via ventilação pulmonar, reduzindo a concentração sanguínea de ácido carbónico e alterando o balanço crítico de ácido carbónico com o bicarbonato necessário para manter o pH do sangue, podendo resultar numa alcalose respiratória. A compensação para a alcalose respiratória envolve o aumento da excreção bicarbonato através da urina, levando ao declínio da concentração sanguínea de bicarbonato (Benjamin, 1981).

Numa fase inicial, o aumento da taxa de respiração ajuda o animal a dissipar o excesso de calor, caracterizando-se por uma maior frequência dos movimentos respiratórios e uma diminuição no volume de ar inspirado. No entanto, em condições mais extremas, este processo não é suficiente para refrescar o animal, pelo que a respiração se torna um pouco mais lenta e profunda (McGovern e Bruce, 2000).

Segundo Silanikove (2000), a medição da taxa de respiração dos bovinos, bem como a quantificação do nível do *stress* térmico segundo os seus movimentos respiratórios (normal, 40-60  $\text{mr min}^{-1}$ , médio a alto, 60-80  $\text{mr min}^{-1}$ , alto, 80-120  $\text{mr min}^{-1}$  e severo, acima dos 150  $\text{mr min}^{-1}$ ) é o procedimento mais fácil e acessível para avaliar o *stress* térmico por calor na produção animal. Brown-Brandl *et al.* (2005) acrescenta que esta medição não exige equipamentos sofisticados e, ao contrário da temperatura corporal, é quase uma resposta imediata do animal e segue, quase, o mesmo padrão da temperatura.

A taxa de respiração é um dos mecanismos mais importantes a considerar quando se avalia o nível de *stress* térmico por calor para os bovinos, pois é uma das principais respostas observadas quando expostos a temperaturas acima do limiar de conforto (Gaughan *et al.* 2000).

### **1.3.3. Temperatura retal**

A temperatura retal é um indicador do balanço térmico e pode ser utilizada para determinar o efeito do ambiente térmico no animal, o qual pode afetar o crescimento, a lactação e a reprodução dos animais. Nos animais domésticos, a temperatura retal é uma

medida conveniente e fornece indicação útil da temperatura central, apesar de normalmente apresentar valores inferiores. As oscilações na temperatura retal têm maior amplitude do que as que se verificam na temperatura central. Assim, a temperatura retal média é de 38,3 °C para bovinos de carne, podendo variar entre 37,7 a 39,2 °C (Robinson, 1999). O mesmo autor refere o valor de 38,6 °C para a temperatura retal média de bovinos de leite, assumindo que pode variar entre 38,0 a 39,3 °C. Estas variações ocorrem de acordo com a raça, idade, fase de lactação, nível alimentar, fase reprodutiva, atividade física, para além das condições ambientais.

O aumento de um grau centígrado ou menos na temperatura retal média é suficiente para reduzir a performance na maioria das espécies de produção animal (McDowell *et al.*, 1976) o que pode ser um indicador sensível da resposta fisiológica ao *stress* térmico por calor. Uma vez que em condições normais a temperatura retal é relativamente constante, a elevação deste parâmetro indica, naquelas condições ambientais, quando se verifica uma situação de *stress* térmico por calor, uma menor eficiência dos mecanismos de dissipação de calor.

Existem diferenças notáveis entre raças quanto à sua habilidade para regular a temperatura retal. A temperatura retal média é mais alta no *Bos taurus* do que no *Bos indicus* (Finch, 1986), e como resultado o gado *Bos taurus* é mais sensível ao *stress* térmico por calor do que o *Bos indicus*.

#### **1.4. Stress térmico e respostas comportamentais**

O bem-estar e a produtividade de um animal podem ser colocados em risco por ação de fatores ambientais que também influenciam o seu comportamento. Cada animal possui um conjunto de comportamentos que são usados como ferramentas de adaptação ao meio ambiente.

Os homeotérmicos reagem às alterações do ambiente térmico, não apenas funcional e estruturalmente, mas também através respostas comportamentais. Os animais podem atuar de várias maneiras para influenciar a taxa de fluxo de calor com meio. Uma mudança no ambiente térmico pode estimular mais do que uma resposta comportamental, mas o animal aprende a usar aquela que demonstra ser mais eficiente (Arias *et al.*, 2008).

À medida que a temperatura ambiente se aproxima do limite inferior da ZNT, a  $T_{ci}$ , os animais adaptam comportamentos adequados à manutenção da homeotermia. Nestas condições, observa-se a redução da superfície corporal exposta, através de posições menos

amplas e mudanças de orientação corporal em condições atmosferas agrestes (por exemplo, os animais em pastoreio, orientam os quartos traseiros na direção do vento; as aves marinhas orientam-se na direção do vento), verificam-se agrupamento de animais, bem como a procura por zonas mais abrigadas do vento e do frio, com objetivo de conservar a temperatura corporal. Quando a  $T_{ci}$  é atingida, o animal aumenta ingestão de alimento de forma a incrementar a produção de calor, e assim, diminuir a  $T_{ci}$ .

Quando a temperatura ambiente aumenta, os animais alteram o seu comportamento, com o objetivo de reduzir a produção de calor ou de facilitar os processos de dissipação deste, evitando acumulação adicional de calor corporal. A adoção de posturas mais amplas de forma a aumentar a superfície de contacto com o solo, a orientação corporal menos exposta à radiação solar, a procura de sombra e a imersão em água, quando há disponibilidade de lagoas, são alguns exemplos de mecanismos comportamentais desencadeados. Estas mudanças de comportamento, que tem por finalidade a eliminação de calor, ocorrem principalmente no sentido de maximizar a dissipação de calor por condução e/ou convecção. Outros exemplos de comportamentos que ocorrem são a diminuição da atividade física, a relutância das fêmeas em montar umas às outras (quando em cio), a permanência dos animais com a boca aberta, ofegantes e a perder saliva, e ainda, o aumento da ingestão de água.

A partir de uma determinada temperatura os animais diminuem a ingestão de alimento, sobretudo no consumo de alimentos fibrosos (reduzindo o nível energético da dieta, e como tal o incremento calórico) e ainda, estes tendem a realizar a maior parte da ingestão nos períodos mais frescos do dia. Segundo Hahn (1999), o declínio da ingestão voluntária nos bovinos ocorre por volta do 25 °C, sendo considerado o limiar do *stress* térmico.

Damasceno *et al.* (1999), em estudos sobre o efeito das condições ambientais no comportamento alimentar, refere que com o aumento da temperatura do ar houve uma redução no número e na duração das refeições. Paes Leme *et al.* (2005) demonstraram haver um aumento significativo no tempo que as vacas leiteiras permaneceram à sombra durante o verão, quando lhes foi proporcionado livre acesso a áreas sombreadas.

Tapki e Şahin (2006) realizaram um estudo de comportamentos de termorregulação em vacas leiteiras de baixa e alta produção num ambiente quente, e analisaram a frequência dos seguintes comportamentos: consumo de alimento e água, ruminação, permanência em pé e em repouso (animais deitados sem ruminação), atividade locomotora, entre outros comportamentos. Assim, quando as temperaturas aumentaram (entre 6 horas e as 16 horas), verificou-se, como esperado, que as vacas de alta produção obtiveram uma frequência de

ingestão de alimento 29 % superior à das vacas de baixa produção. Relativamente ao consumo de água, as vacas de alta produção ingeriram 62 % mais que as de baixa produção. As vacas de alta produção também permaneceram mais 6 % de pé, menos 7 % em repouso e 8 % de rinação em comparação com as vacas de baixa produção. Verificando-se que entre as 10 e as 13 horas foi o período com menor frequência de rinação para as vacas de alta produção, bem como o consumo de água foi máximo às 16 horas e mínimo às 20 horas, para ambos os grupos. Em relação à atividade locomotora, as vacas de alta produção moveram-se menos, como também defecaram e urinaram menos. Concluíram, que as que as vacas de alta produção foram mais sensíveis ao calor, do que as vacas de baixa produção, como foi mostrado pelo tempo gasto em repouso relativamente ao tempo que estiveram deitadas e em locomoção.

Glaiser (2008) avaliou aspetos comportamentais de bovinos das raças *Angus*, *Caracu* e *Nelore* em pastoreio, com recurso a sombra e água para imersão, e concluiu que os bovinos optaram por utilizar o sombreamento, só recorrendo à água para imersão como recurso secundário de proteção contra o calor. O menor nível de tolerância ao *stress* ocasionado pelo calor fez com que os animais menos adaptados ou com a termólise afetada procurassem estes recursos com maior frequência e intensidade, enquanto as raças mais adaptadas mostraram uma maior tolerância ao ambiente térmico quente.

Andersson (2009) avaliou o uso de sombra artificial para vacas leiteiras, e verificou que estas a usavam em média 14,5 % do tempo por dia entre as 9 e as 19 horas. O comportamento mais comum realizado à sombra foi o ócio. Quando a temperatura e a humidade do ar aumentaram, o comportamento de pastoreio diminuiu, e para compensar esse facto, as vacas pastaram por um período mais longo durante a noite. Naquelas condições, também verificou, que as vacas permaneceram de pé, andaram à volta e deitaram-se por um período mais longo.

### **1.5. Efeito do *stress* térmico por calor na fisiologia da reprodução**

As altas temperaturas ambientais ou as suas flutuações rápidas e repentinas podem causar consequências desfavoráveis sobre a função reprodutiva dos bovinos. Os efeitos negativos do clima sobre o seu desempenho reprodutivo são uma consequência das mudanças drásticas nas suas funções biológicas. Estes efeitos são controlados pelos animais, através de uma cadeia de reações envolvendo termorreceptores, fotorreceptores, capacidades sensoriais, hipotálamo, sistema nervoso central, glândulas endócrinas e gónadas.

Os efeitos adversos causados pelo *stress* térmico por calor podem comprometer a eficiência reprodutiva das fêmeas de distintas maneiras: retardando o início da puberdade, alterando ou retardando a ovulação, alterando a intensidade e a duração do cio (Hafez, 1968; Mohamed, 1974; Aréchiga e Hansen, 2003), podendo mesmo suprimi-lo, resultando em períodos de anestro, bem como repercutindo-se no aumento do intervalo desde o parto até à concepção, na incidência de cios com fracos sinais ou silenciosos (Mohamed, 1974, Gwazdauskas *et al.*, 1981; Younas *et al.*, 1993). Contudo, estudos mostraram que em alguns animais não existiu nenhuma relação entre o calor e as manifestações de cios (Howell *et al.*, 1994). Uma menor manifestação do cio poderá estar relacionada, em parte, com uma menor atividade locomotora das vacas expostas ao calor. Há assim, uma redução do número de montas em condições de tempo quente quando comparada com as ocorridas com tempo frio (Pennington *et al.*, 1985). Nebel *et al.* (1997) observaram, para o período de inverno, uma média de 8,6 montas contra 4,5 montas no período de verão. Uma outra explicação para redução da duração e a intensidade do cio, poderá dever-se a alterações endócrinas, já que ocorrem níveis de estradiol baixos durante o pró-estro, em vacas expostas ao *stress* térmico por calor (Gwazdauskas *et al.*, 1981; Roman-Ponce *et al.*, 1981). Contudo estes resultados não se mostraram consistentes com os observados por outros autores (Rosenberg *et al.*, 1982; Folman *et al.*, 1983).

Uma vez que a atividade ovárica é regulada pelo sistema hormonal, a função reprodutiva pode ser comprometida através de alterações que se verifiquem ao nível do eixo hipotálamo-hipófise-gónadas (HHG), pelas hormonas do complexo HHA libertadas, que inibem a secreção da hormona libertadora de gonadotrofinas (GnRH), e como tal, da hormona folículo estimulante (FSH) e da hormona luteinizante (LH), quando ocorre uma situação de *stress* térmico por calor. Altera-se o efeito estimulatório das gonadotrofinas na secreção de esteroides sexuais, o que causa problemas de infertilidade ou baixa eficiência reprodutiva (Charmandari *et al.*, 2005). A insuficiência da secreção de hormonas gonadotróficas (FSH e LH), em condições de *stress* térmico, pode levar à produção inadequada de estrogénios e, ou, de progesterona, podendo resultar em falhas reprodutivas. A diminuição de LH pode levar à insuficiência da ovulação, com o fracasso do desenvolvimento posterior do corpo lúteo.

A tiroide também desempenha um papel na diminuição da atividade reprodutiva (Farghaly, 1984), uma vez que se verifica uma diminuição dos níveis de triiodotironina (T<sub>3</sub>) e tironina ou tetraiodotironina (T<sub>4</sub>), as quais desempenham um papel na regulação da produção de estrogénios pelos folículos bovinos (Morales e Rodrigues, 2005). Spicer *et al.* (2001), num

estudo *in vitro* descobriu que a T<sub>4</sub> pode ter um impacto positivo sobre a produção de progesterona induzida pela FSH nas células da granulosa, enquanto a T<sub>3</sub> e a T<sub>4</sub> podem ter um impacto positivo na produção de androstenediona nas células da teca, que pode resultar num aumento da produção de estrogénios pelo folículo.

Os ovócitos podem ser afetados diretamente em consequência das altas temperaturas ou por repercussões geradas durante o desenvolvimento folicular que poderão comprometer a sua qualidade (Badinga *et al.*, 1993; Wolfenson *et al.*, 1997; Lozano-Domínguez e Gonzalez-Padilla, 2003), nomeadamente, na fase de recrutamento, na seleção e na dominância folicular, o que pode resultar num ovócito de baixa qualidade. O *stress* térmico por calor reduz o crescimento e a quantidade de fluido folicular (Badinga *et al.*, 1993) e a concentração de 17β-estradiol no fluido dos folículos ováricos da primeira onda folicular (Wolfenson *et al.*, 1997), como também reduz a o grau de dominância do folículo dominante, e mais folículos subordinados de tamanho médio sobrevivem (Wolfenson *et al.*, 1995, Roth *et al.*, 2000; Wilson *et al.*, 1998a, Vasconcelos *et al.*, 1998, Badinga *et al.*, 1993). Wolfenson *et al.* (1995) verificou que quando o *stress* térmico por calor foi exercido no dia 1 do ciclo éstrico, os folículos maiores aumentaram 10 mm de diâmetro e surgiu temporariamente um folículo dominante de uma segunda onda folicular, o que indica que o folículo resultante da primeira onda folicular perdeu a dominância. Contudo, quando o *stress* térmico por calor foi exercido no dia 11 do ciclo éstrico das novilhas, produziu-se um folículo muito pequeno na sua segunda onda folicular (Wilson *et al.*, 1998b), diminuindo as concentrações periféricas de 17β-estradiol nas novilhas e vacas (Wilson *et al.*, 1998a, b).

O *stress* térmico por calor é considerado o fator ambiental responsável por reduzir as percentagens de fertilização e conceção nos meses quentes dos climas semiáridos, tropicais, subtropicais, e ainda são reportadas situações semelhantes em climas temperados. A percentagem de fertilização em vacas superovuladas e inseminadas tende a diminuir durante o verão (Gordon *et al.*, 1987; Monty e Racowsky, 1987; Putney *et al.*, 1989), possivelmente por danos sobre o ovócito. A inatividade do ovário é uma das causas do ciclo ovulatório prolongado. Lew *et al.* (2006) simulando as diferentes estações do ano numa câmara climática, verificaram que a concentração de estradiol no inverno foi 62 % superior que no outono, e 34 % no verão. A exposição ao calor sazonal agudo modificou os parâmetros de desenvolvimento do folículo e as concentrações hormonais no líquido folicular, podendo assim explicar em parte a queda nas taxas de conceção no verão.

A sobrevivência dos embriões pode ser comprometida bem com o desenvolvimento destes embriões ou fetos, e inclusive a alteração da função lútea do ovário responsável pela manutenção da gestação (Aréchiga e Hansen, 2003). O ambiente intrauterino é também comprometido quando as vacas estão sob *stress* pelo calor, havendo um decréscimo do fluxo sanguíneo ao útero e um aumento da temperatura uterina (Roman-Ponce *et al.*, 1978, Gwazdauskas *et al.*, 1975). Estas mudanças inibem o desenvolvimento embrionário (Rivera e Hansen, 2001), fazendo com que a hipertermia possa interromper a gravidez precoce, causando morte e reabsorção dos embriões e aborto de fetos bem desenvolvidos (Van Herdeen, 1963). Pode verificar-se também uma maior incidência de mortalidade embrionária, de taxas de mortalidade fetal, da duração da gestação e do tamanho do feto (Hafez, 1968). Os embriões no estado de 2 células são mais suscetíveis quando são submetidos a uma temperatura de 41 °C, que os embriões em fase de desenvolvimento mais avançado como na fase mórula (Ealy *et al.*, 1995). Isto poderá dever-se a alterações geradas durante o desenvolvimento dos embriões que lhe permite desenvolver a capacidade termorresistente, e esse fenómeno poderá explicar o facto das vacas se tornarem menos suscetíveis ao *stress* térmico por calor à medida que a gestação avança (Ealy *et al.*, 1993). Estes estudos comprovam que os embriões adquirem a capacidade termorresistente 1 ou 2 dias depois da fertilização.

O *stress* térmico por calor pode afetar uma gestação avançada, uma vez que aproximadamente 60 % do desenvolvimento do feto e da maioria do desenvolvimento da glândula mamária ocorre durante o último trimestre de gestação. Durante os períodos de *stress* térmico por calor, há uma maior circulação de fluxo sanguíneo junto aos tecidos corporais periféricos, para promover a dissipação de calor para o ambiente (Alexander *et al.*, 1987). Como consequência, nas vacas gestantes, existe uma redução da quantidade de sangue circulante que vai ao útero e à placenta, o que provoca uma redução na quantidade de hormonas circulantes, a redução no peso e no tamanho da placenta e do vitelo (Collier *et al.*, 1982b; Wolfenson *et al.*, 1988). Biggers *et al.*, (1987) verificou num estudo com vacas de carne submetidas ao *stress* térmico do dia 8 ao dia 16 da gestação demonstrou um tamanho menor do *conceptus* (embrião e membranas adjacentes) no dia 17 da gestação.

O intervalo desde o parto à concepção e o número de inseminações por concepção poderão aumentar (Mohamed, 1974), assim como a taxa de fertilização e a sobrevivência neonatal podem diminuir em função do *stress* térmico (Hafez, 1968).

Nos touros, as altas temperaturas exercem efeitos negativos sobre a libido sexual, apesar dos mecanismos de termorregulação dos testículos. Uma situação de *stress* térmico por calor de 12 horas é suficiente para afetar a espermatogénese (Skinner e Louw, 1966). O aquecimento do escroto em bovinos por períodos curtos, como 1 hora, reduz a motilidade dos espermatozoides no ejaculado. A espermatogénese, geralmente, ocorre a uma temperatura de 4 °C abaixo da temperatura corporal. O aumento desta devido ao *stress* térmico por calor tende a aumentar a temperatura do escroto e por conseguinte, a função testicular é afetada, resultando na diminuição da qualidade do sémen (Van Heerden, 1963; Setchell *et al.*, 1994), e da espermatogénese, a qual pode ser afetada de 2 maneiras: 1) se o sistema de controlo da termorregulação da temperatura testicular for alterado ou, 2) se o nível de *stress* por calor for excessivo, como no caso de uma febre ou *stress* ambiental severo (Johnston *et al.*, 1961; Skinner e Louw, 1966; Meyerhoeffer *et al.*, 1985). Além disso, verifica-se também a redução do volume do ejaculado, da percentagem de espermatozoides vivos, da concentração espermática, da viabilidade (Coser *et al.*, 1979) e da motilidade (Coser *et al.*, 1979; Setchell *et al.*, 1994). Devido à dinâmica do ciclo espermatogénico, os efeitos adversos do *stress* térmico sobre o sémen aparecem cerca de 2 semanas após a sua ocorrência. Como este ciclo tem a duração de 45 a 61 dias, os efeitos negativos sobre espermatozoides podem persistir por 7 a 10 semanas (Aréchiga e Hansen, 2003).

### **1.6. Efeito do *stress* térmico por calor na fisiologia do crescimento e na produção leiteira**

O *stress* térmico por calor faz com que as necessidades energéticas de manutenção aumentem, reduzindo a taxa de crescimento, a produção de leite e a performance reprodutiva, o que poderá originar perdas económicas significativas para os produtores.

A performance produtiva dos animais é afetada porque os animais têm dificuldade em dissipar o calor corporal, reduzindo por esse motivo a ingestão de alimento na tentativa de diminuir os ganhos de calor devido ao incremento de calor dos alimentos. Este comportamento manifesta-se no decréscimo de produção e na taxa de crescimento, e provavelmente numa menor produção por unidade de alimento (Morrisson, 1983). Embora a digestibilidade aparente da energia e da fibra da dieta seja maior num ambiente quente, em comparação com aquela que ocorre em ambiente frio (dado que a taxa de passagem é mais lenta e é concedido mais tempo para fermentação e digestão), há menos energia total metabolizável disponível para o animal, porque a magnitude da diminuição relativa da

ingestão de alimento é maior do que o aumento da digestibilidade (Beede *et al.*, 1986). Além disso, a eficiência da utilização da energia é reduzida devido às elevadas necessidades de manutenção (Shearer e Beede, 1990; Beede *et al.*, 1986). Em condições de temperatura elevada, as necessidades de manutenção aumentam devido ao esforço metabólico suplementar exercido para dissipar o calor (Morrison, 1983). Por exemplo, o aumento da taxa de respiração pode aumentar as necessidades energéticas em 7 a 25 % (NRC, 1981).

O crescimento, que pode ser definido como um aumento de matéria viva ou a multiplicação celular, é controlado geneticamente e ambientalmente por um bom equilíbrio entre os nutrientes disponíveis, hormonas e enzimas. O *stress* térmico pode ocasionar mudanças na conformação do corpo dos animais em crescimento, e afetar o ganho de peso corporal. Os efeitos das temperaturas elevadas sobre o crescimento são a diminuição da atividade anabólica e o aumento do catabolismo nos tecidos. A diminuição do anabolismo é essencialmente causada pela diminuição no consumo voluntário de nutrientes essenciais (Morrison e Lofgreen, 1979), particularmente dos níveis adequados de energia metabolizável para a manutenção e ganho de peso (Bianca, 1965). Isto causa perdas de produção por unidade de alimento sob *stress* térmico (Ames e Brink, 1977; Kamwanja *et al.*, 1980). O aumento do catabolismo dá-se principalmente nos depósitos de gordura e de massa magra (Kamal e Johnson, 1971).

As referências na literatura sobre os efeitos das temperaturas elevadas sobre o desempenho do crescimento não são consensuais. Estudos realizados com vitelos das raças *Brown-Swiss*, *Holstein* e *Jersey* (Kamal *et al.*, 1962), vitelos da raça *Holstein* e *Hereford* (Thompson *et al.*, 1963), vitelos da raça *Friesian* (Habeeb *et al.*, 1991) e novilhas *Friesian* (Kamal e Seif, 1969) mostraram que a taxa de crescimento, o ganho diário de peso, o peso corporal seco (sólidos corporais totais), o ganho diário de sólidos e o peso corporal vivo são prejudicados a temperaturas elevadas. A perda calculada em sólidos corporais devido a condições de *stress* térmico por calor foi de 23 % em novilhas da raça *Friesian* (Kamal e Seif, 1969), 14 a 29 % em bovinos *Guernsey* (Kamal e Johnson, 1971), 17 % em vitelos da raça *Friesian* (Habeeb, 1987).

Ragsdale *et al.* (1957), com a finalidade de determinar o efeito de diferentes temperaturas (10 e 27 °C) na taxa de crescimento de 3 raças de bovinos (*Brahman*, *Santa Gertrudis* e *Shorthorn*), verificou que apenas a taxa de crescimento dos *Shorthorn* foi adversamente afetada pela alta temperatura. Morrison e Lofgreen (1979) observaram uma redução significativa de ingestão de alimento e ganho de peso para novilhos *Hereford* e *Hereford-Angus* sob 29 °C quando comparados com 20 °C. Holmes *et al.* (1980) reportaram

uma melhor performance dos bovinos *Brahman-Friesian* cruzados do que os bovinos *Friesian*, com uma dieta altamente digestível. Eles também observaram uma melhor digestibilidade aos 37 °C quando comparado com os 17 °C. Warren *et al.* (1974) verificaram uma evidência semelhante do aumento da digestibilidade da fibra com aumento na temperatura.

Em outros estudos, observou-se que não ocorreu uma apreciável alteração no peso vivo devido a temperaturas elevadas (Habeeb, 1981). Ragsdale *et al.* (1951) também verificaram, num estudo com bovinos da raça *Brahman*, um aumento estável do peso vivo há medida que a temperatura ambiente subiu. Kamal e Johnson (1971) atribuíram esta resposta contraditória do peso vivo dos animais sob *stress* térmico através da interação entre destruição dos tecidos e a retenção de água. O aumento do teor de água corporal total pode ser inferior, igual ou superior em relação à perda de sólidos totais do corpo, resultando respetivamente, na diminuição, na ausência de variações ou aumento de peso vivo. Estes autores observaram em vitelos submetidos ao calor uma perda de 10,6 kg de gordura, um ganho de 0,6 kg de sólidos de massa magra com um total líquido de 10 kg de sólidos corporais, em 3 dias. A perda de gordura, que se verificou, foi substituída por água corporal extra e retida durante esses 3 dias, não ocorrendo uma mudança significativa no peso corporal. De outro ponto de vista, as respostas não consensuais, que se observaram na variação do peso vivo dos animais sujeitos a condições de calor, podem ser atribuídas às diferenças no tempo de exposição ao calor, bem como, à raça e à fase de maturidade dos animais em tratamento.

Hahn *et al.* (1974), num estudo com bovinos *Hereford* com uma dieta alta de concentrado, observou que depois de 5 semanas de *stress* moderado e retorno a condições de neutralidade térmica, os animais exibiram um crescimento compensatório retomando o peso médio do grupo de controlo ao fim de 1 ou 2 semanas. Contudo, os animais sujeitos a um *stress* térmico mais severo tiveram uma recuperação limitada de crescimento.

Nas vacas leiteiras, as altas temperaturas ambientais são associadas a uma descida na produção de leite causada pela redução da ingestão de alimento e da absorção de nutrientes, e o redireccionamento do fluxo sanguíneo dos órgãos internos para os tecidos periféricos, como forma de dissipar o excesso de calor. Estas respostas são estratégias fisiológicas para sobrevivência a um potencial risco de vida. Eles geralmente não melhoram o desempenho dos animais a curto prazo (Shearer e Beede, 1990).

Segundo NRC (1981), a ingestão de alimentos das vacas em lactação começa a diminuir quando a temperatura ambiente se situa entre os 25 e os 27 °C, sendo esta queda a mais acentuada quando a temperatura é superior a 30 °C. A 40 °C, a ingestão da dieta é inferior,

geralmente, a 60 % da ingestão verificada entre os 18 e os 20 °C. Já Shearer e Beede (1990), durante o *stress* térmico por calor, sugerem que a ingestão de matéria seca começa a diminuir quando a temperatura se eleva acima dos 25,5 °C, que a ingestão é apenas 90 % do normal aos 30 °C, 75 % aos 32,2 °C e 67 % aos 40 °C. A diminuição na ingestão de alimento fibroso contribui para o decréscimo na produção de ácidos gordos voláteis e pode proporcionar alterações na taxa acetato:propionato, com diminuição do pH ruminal (Collier *et al.*, 1982b).

A taxa de absorção de nutrientes do trato digestivo e do fluxo sanguíneo hepático estão diretamente relacionados com o nível de ingestão de alimento (Bendsadoun e Reid, 1962; McGuire *et al.*, 1980). Assim, a ocorrência da vasodilatação periférica e o redirecionamento do fluxo sanguíneo irá proporcionar um menor fluxo de sangue à veia porta (fígado) e à glândula mamária e, por consequência, uma menor disponibilidade de nutrientes e energia para os processos produtivos (Shearer e Beede, 1991). Verificam-se modificações no metabolismo da glândula mamária e da composição do leite, devido à redução na síntese, na absorção e na mobilização de metabolitos (como a glicose, os ácidos gordos voláteis, os lípidos, os aminoácidos, etc.) a partir do trato digestivo, fígado e tecido adiposo. Há também uma alteração na utilização dos metabolitos pela glândula mamária. O declínio de proteína, de hidratos de carbono, de metabolismo lipídico-mineral e vitamínico conduz a um balanço negativo de azoto (Kamal *et al.* 1962) e de energia (McDowell *et al.*, 1969), resultando num *turnover* proteico reduzido, menor incremento de calor e baixos níveis de minerais para a biossíntese do leite. A diminuição da maioria dos níveis hormonais de bovinos com *stress* térmico, especialmente as hormonas termogénicas como a insulina (Habeeb, 1987), a tiroxina (El-Masry e Habeeb, 1989) e o cortisol (Kamal *et al.*, 1989 a, b) também pode ser responsável pela diminuição da produção de leite, bem como pela alteração na composição do leite. Yousef (1985) refere que a alteração nas secreções de várias hormonas responsáveis pela lactação, como a diminuição da secreção da hormona de crescimento (GH), da T<sub>4</sub> e da T<sub>3</sub>, conduz ao declínio na produção de leite, sobretudo na fase inicial da lactação. Essas alterações possibilitam o equilíbrio de certas funções orgânicas relacionadas com a termorregulação, porém, podem ocorrer prejuízos nos processos de síntese e secreção do leite, pois as reações pelo *stress* térmico podem alterar o complexo endócrino responsável pela lactogénese e galactopoíese (Ewy, 1987).

Petkov (1971) verificou que um aumento na temperatura média de 1,6; 3,2 e 8,8 °C acima do normal (21 °C) provocou um decréscimo da produção média diária em 4,5; 6,8 e 14 % respetivamente, e uma descida da temperatura média diária de 7 °C abaixo do normal resultou

num aumento na média diária da produção leiteira de 6,5 %. Vanjonack e Johnson (1975) obtiveram, para animais de alta produção, uma redução média de 2,0 kg dia<sup>-1</sup> em relação à redução de apenas 0,65 kg dia<sup>-1</sup> para animais de baixa produção, com uma temperatura de 30 °C. Kamal *et al.*, (1989b), em clima quente (38 °C), observaram uma redução na produção média de leite em vacas da raça *Friesian* inferior a 30 % em comparação com a produção em clima ameno (18 °C). Em raças puras, importadas de clima temperado para regiões de clima tropical húmido, Raun (1976) relatou que a produção de leite raramente excedeu 12 a 15 kg dia<sup>-1</sup> e a maioria das vezes era inferior a 10 kg dia<sup>-1</sup>. Bianca (1965) verificou para uma temperatura de 29 °C, com uma humidade relativa de 40 %, que a produção de leite para vacas das raças *Holstein*, *Jersey* e *Brown-Swiss* foi 97, 93 e 98 % da produção normal, respetivamente. Mas quando a humidade relativa aumentou para 90 % as produções foram 69, 75 e 83 % da produção normal, respetivamente.

Os efeitos negativos na produção de vacas sujeitas a ambientes quentes parecem estar relacionados com a fase de lactação. Bober *et al.* (1980) relataram que no início, meio e final de lactação a produção de leite diminuiu 25, 41 e 47 %, respetivamente, em 72 horas após o início da exposição ao calor. No decorrer do seu ciclo de lactação, o momento em que as vacas sofrem a ação do *stress* térmico, parece apresentar uma grande importância com reflexos na produção total de leite. As vacas que sofreram *stress* térmico no início da lactação apresentam maior dificuldade em recuperar a produção normal de leite. Neste período, as vacas encontram-se em balanço energético negativo, mobilizando reservas corporais (Sharma *et al.*, 1983), o que pode explicar a incapacidade para recuperar os níveis normais de produtividade.

Kamal *et al.* (1962) relataram que vacas criadas a 27 °C mostraram reação mais moderada ao calor quando exposto a temperaturas elevadas em comparação com aquelas criadas a 10 °C. Assim, o desempenho da lactação, em novilhas criadas a temperaturas mais quentes pode fazer com que mais tarde tenham uma melhor performance produtiva.

Os constituintes do leite também são muito afetados pelo calor. As vacas da raça *Friesian* mantidas sob 38 °C apresentaram teores médios inferiores de sólidos totais, gordura, proteína, cinzas e lactose em comparação com os mesmos animais quando mantidos sob condições de neutralidade térmica (18 °C) (Habeeb *et al.*, 1989). As percentagens de redução encontradas por aqueles autores foram de 28, 27, 7, 27 e 30 %, respetivamente. Rodriguez *et al.* (1985) demonstraram que a percentagem de gordura e de proteína diminuiu entre 8 e 37 °C, o teor de cloreto aumentou quando a temperatura estava acima de 21 °C, e os sólidos totais, a produção de lactose, minerais e a gravidade específica diminuíu acima de 22 °C.

Simultaneamente, o rácio entre a proteína e a gordura diminuiu com temperaturas acima de 29 °C, em vacas da raça *Frisean*.

Bandaranayaka e Holmes (1976) trabalhando com vacas *Jersey* expostas a temperaturas do ar de 15 e 30 °C, constataram que o teor de gordura e de proteína do leite decresceu aos 30 °C, quando o consumo de alimentos se manteve igual em ambas as temperaturas. Estes autores também relataram que a proporção de ácidos gordos de cadeia curta (C<sub>6</sub>-C<sub>14</sub>) na gordura do leite diminuiu aos 30 °C. Por outro lado, àquela temperatura, o teor em de ácidos gordos de cadeia longa, nomeadamente o ácido esteárico (C<sub>18:0</sub>), aumentaram, assim como o teor dos ácidos combinados: ácido oleico (C<sub>18:1</sub>), ácido linoleico (C<sub>18:2</sub>) e ácido linolénico (C<sub>18:3</sub>). A diminuição da gordura e do teor de proteína do leite foi positivamente correlacionada com a redução na proporção de acetato no conteúdo do rúmen e com uma pequena redução no pH ruminal, a 30 °C. A percentagem de proteína no leite diminuiu em todas as vacas durante o período de tratamento, com uma maior diminuição nas vacas a 30 °C do que em vacas a 15 °C.

Stanley *et al.*, (1975) num estudo da interação entre o nível de fibra e a temperatura do ar sobre o teor de gordura, observaram que a temperatura não teve efeito sobre a percentagem de gordura do leite dos animais alimentados com uma dieta com teores elevados de fibra. Contudo, uma dieta rica em grãos de cereais resultou num baixo teor de gordura a baixas temperaturas, que foi ainda mais reduzido, a altas temperaturas.

### **1.7. Índices de conforto térmico para bovinicultura**

A avaliação do *stress* térmico nos animais pode ser estimada através de parâmetros climáticos, que procuram detetar a influência dos vários fatores ambientais no conforto térmico e na capacidade fisiológica dos animais. Os índices de conforto térmico procuram reunir dois ou mais fatores ambientais em torno de uma única variável. Assim, desde que foi reconhecido o papel do ambiente sobre as respostas produtivas, têm sido utilizados diferentes índices para avaliá-lo, com a finalidade de exprimir o estado de conforto destes animais (Silva, 2000; Nääs, 1989). Assim, o índice de temperatura e humidade (THI) e o índice de globo negro e humidade (BGHI) são os 2 índices mais utilizados para determinar o nível de conforto térmico em bovinos.

O THI foi desenvolvido originalmente por Tom (1958) para avaliar o nível de conforto térmico humano, tendo sido posteriormente aplicado também a animais de produção. Segundo Buffington *et al.* (1981), é o índice mais utilizado pelos investigadores para avaliação

do conforto térmico, já que é de fácil obtenção, pois este índice expressa um valor que representa o efeito combinado da temperatura ambiente com a umidade relativa do ar.

Os valores do THI podem ser calculados através da equação (14), descrita por Thom (1958):

$$THI = T_{bs} + 0,36T_{dp} + 41,5 \quad (14)$$

Onde  $T_{bs}$  e  $T_{dp}$  representam, respectivamente, a temperatura do bulbo seco e a temperatura do ponto de orvalho.

Armstrong (1994) classificou o nível de desconforto térmico de acordo com a variação do THI em: ameno ( $72 \leq THI \leq 78$ ), moderado ( $79 \leq THI \leq 88$ ), e severo ( $89 \leq THI \leq 98$ ).

A radiação solar é um dos parâmetros que tem bastante influência na termorregulação dos animais em pastoreio, e apesar do THI ser o índice mais utilizado, não integra esta componente. Assim, Buffington *et al.* (1981) desenvolveu, a partir da fórmula do THI, o índice de globo negro e umidade (BGHI), que considera a ação conjugada da temperatura do bulbo seco, da velocidade do vento, da radiação solar e da umidade relativa. A equação (15) expressa o cálculo do BGHI através da temperatura do globo negro ( $T_{bg}$ ) e da temperatura do ponto de orvalho ( $T_{dp}$ ).

$$BGHI = T_{bg} + 0,36T_{dp} + 41,5 \quad (15)$$

O BGHI é considerado um indicador de conforto mais preciso que o THI, para animais expostos a ambientes de radiação solar direta. Buffington *et al.* (1981) observaram os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) do THI e BGHI em relação às respostas fisiológicas das vacas, e concluíram que o BGHI foi aquele que mostrou melhores resultados para o nível de conforto e produção do animal, sob condições de radiação direta. Contudo em situações de pouca radiação solar ou moderada, os dois índices apresentam a mesma eficiência com indicadores do conforto animal.

## 1.8. O modelo Torrid

Há um interesse cada vez maior por modelos que descrevem a termorregulação de animais de produção, com o principal objetivo de prever ou estimar as respostas fisiológicas dos mesmos em ambientes específicos. O ambiente térmico, principalmente em condições de campo, é bastante complexo, limitando sensivelmente a determinação da termorregulação,

uma vez que a radiação, a velocidade do vento, a humidade e a temperatura do ar modificam-se no tempo e no espaço. Essas variáveis interagem entre si e com diversas características anátomo-fisiológicas dos organismos, de modo que a alteração de uma única variável ambiental pode alterar consideravelmente todos os fatores envolvidos no equilíbrio térmico dos animais.

O modelo de Torrid, desenvolvido por McGovern e Bruce (2000), é um desses modelos que estima o balanço térmico entre os bovinos e o ambiente térmico, através da manipulação de variáveis referentes às condições ambientais e ao próprio animal, podendo ser utilizado em animais estabulados ou em pastoreio. Este consiste num modelo matemático determinístico e um programa computacional do balanço térmico de bovinos, que foi desenvolvido em linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) com interface em *MS-Excel*, e arquitetado de forma a simular o fluxo de energia entre o animal e a envolvente, em diferentes combinações ambientais, onde o bovino é representado como sendo um cilindro horizontal de topos fechados.

Ao realizar a simulação do balanço térmico, é necessário saber os valores referentes à temperatura do ar, a humidade relativa, a velocidade do vento, a radiação solar, e a produção metabólica de calor dos animais. O programa possibilita a simulação de alguns mecanismos fisiológicos de dissipação de calor, como a vasodilatação, a sudação, e a polipneia, pelo que pode ser usado fora das condições de neutralidade térmica, nomeadamente em condições de ambiente térmico quente. A radiação solar também pode ser manipulada, simulando as condições de um animal com acesso a sombra.

### **1.9. Maneio ambiental nas explorações pecuárias**

O maneio ambiental torna-se necessário a partir do momento em que fatores climáticos afetam o conforto e bem-estar animal, bem como a sua performance. E assim, têm sido postas em práticas estratégias de minimização, tais como modificações físicas (uso de sombras e sistemas de arrefecimento), desenvolvimento genético de raças mais resistentes ao calor e melhorias no maneio nutricional (Beede e Collier, 1986).

As instalações zootécnicas devem permitir algum controlo dos parâmetros climáticos, principalmente da temperatura ambiente. O controlo da temperatura no interior das instalações pode ser realizado de várias formas, tais como: ventilação natural ou forçada, ou ainda, através de sistemas de arrefecimento evaporativo (SAE).

A ventilação em ambientes quentes pode promover melhorias nas condições termohigrométricas, representando um fator de conforto térmico de verão, ao incrementar as trocas de calor por convecção e evaporação. A ventilação por meios naturais pode ser realizada por meio de aberturas nas paredes e na cobertura da instalação, através da movimentação do ar gerada por diferenças de pressão do ar interior e do exterior da instalação. Sempre que a ventilação natural não proporciona os índices de renovação do ar ou a redução da temperatura necessária, recorre-se aos meios artificiais, uso de ventiladores mecânicos, designando-se nestas condições de ventilação forçada.

Os sistemas de arrefecimento evaporativo (SAE) são outra forma de modificar o ambiente térmico que rodeia os animais, minimizando o efeito do *stress* térmico por calor. Os SAE consistem em mudar o ponto de estado psicométrico do ar, para maior humidade e menor temperatura mediante o contacto com uma superfície humedecida ou líquida. A diminuição da temperatura ambiente é feita através da evaporação da água. Por cada grama de água evaporada é perdido cerca de 2410 J de energia, à temperatura de 38 a 39 °C.

Os SAE podem ser realizados por vários processos, entre eles destacam-se a nebulização e a aspersão. A diferença entre a nebulização e a aspersão consiste no diâmetro da gota e a pressão na qual esses sistemas operam. A nebulização permite a formação de gotículas de pequeníssimas dimensões, o que aumenta a área de contacto de uma gota de água com o ar e assegura uma evaporação mais rápida. Bray *et al.* (1994) classificaram os sistemas de arrefecimento evaporativo de nebulização utilizados para atenuar o desconforto térmico dos animais em *mist* e *fog*. No sistema *mist*, as gotas são maiores e vão evaporando à medida que caem no solo (nebulização de baixa a média pressão). No sistema *fog*, as gotas ficam suspensas no ar e evaporam antes de tocar o solo (nebulização de alta pressão). O sistema de aspersão ou sistema de chuveiros apresenta gotas de maior tamanho, e não consiste no arrefecimento do ar, mas sim no arrefecimento do animal através da evaporação da água que molha a pele e o pelo dos animais, permitindo assim uma troca de calor mais eficiente, quando comparada apenas com a sudação. Também existem estratégias para diminuição da temperatura interior das instalações, utilizando o mesmo princípio evaporativo, através da aspersão das coberturas do edifício.

Muitas das vezes, verifica-se a conjugação de diferentes meios de atenuação dos efeitos do *stress* térmico, nomeadamente, são conjugados os sistemas de arrefecimento evaporativos com sistemas de ventilação, verificando-se o aumento da eficiência de arrefecimento, pelo incremento das perdas de calor corporal por evaporação e convecção.

Os sistemas de arrefecimento evaporativo são extremamente eficazes na redução da temperatura do ar, proporcionando efeitos benéficos no ambiente de uma instalação. Contudo, em ambientes com elevada humidade relativa do ar a sua eficiência diminui, uma vez que a capacidade evaporativa diminui à medida que o ar se aproxima da saturação.

Outro aspeto importante no controlo ambiental das instalações pecuárias é a orientação dos edifícios. Devem ser implantados numa orientação este-oeste, ficando a fachada maior voltada para sul. Esta orientação assegura menor exposição solar durante a época mais quente (solstício de verão), o que reduz significativamente o aumento da temperatura do ar no interior da instalação através dos ganhos solares (Smith *et al.*, 2002).

Existem outros métodos para atenuar os efeitos do clima nos animais, nomeadamente, proporcionar o acesso a sombras.

### **1.9.1. O sombreamento**

Nos sistemas de produção de leite ou carne, em regime de pastoreio ou em estabulação ao ar livre, o uso de sombra nas épocas quentes é uma das estratégias mais utilizadas para minimizar o excesso de calor. Isto porque, para além de ser uma medida fácil e económica, o seu uso também ajuda a reduzir o impacto da radiação direta e indireta, e assim reduzir a carga térmica recebida pelos animais. Estima-se que a carga total de calor pode ser reduzida entre 30 a 50 % com uma sombra bem construída (Bond e Kelly, 1955). Contudo, a sombra não tem efeito direto na temperatura e na humidade relativa do ar, por isso não elimina completamente o problema do equilíbrio térmico (West 2003, Collier *et al.* 2006).

A preocupação com o fornecimento de sombra aumenta com a intensificação do sistema de produção, como é o caso das vacas leiteiras de alta produção. Pois estas são muito mais sensíveis às altas temperaturas ambientais, devido ao elevado calor metabólico produzido. E também de acordo com a raça em produção, uma vez que raças *Bos taurus* são mais sensíveis ao calor que as raças *Bos Indicus*.

Em relação ao tipo de sombreamento, este pode ser classificado em natural ou artificial. O sombreamento natural é feito através de árvores, as quais são uma excelente fonte de sombra e, quando é dado aos animais a hipótese de escolher, eles geralmente buscam a sombra das árvores, em vez das estruturas feitas pelo homem. As árvores não são apenas bloqueadores eficazes de radiação solar, pois a ocorrência da evaporação da humidade da superfície das folhas arrefece o ar, sem contudo interferir com a circulação deste. Além disso,

o animal absorve muito menos calor radiante a partir da sombra de uma árvore em comparação com uma cobertura de metal. Conseqüentemente, as árvores são um recurso natural altamente desejável no meio ambiente dos bovinos (Shearer *et al.*, 1991).

O sombreamento natural pode ser feito através de árvores isoladas ou em grupo. Este parece funcionar melhor quando as linhas de árvores são situadas nas bordas sul e oeste de currais ou pastos. As árvores mais indicadas são as frondosas com altura mínima de 3 m para proporcionar uma sombra de 20 m<sup>2</sup>, pelo menos, e uma boa ventilação de modo que o solo sombreado seque rapidamente, evitando a acumulação de humidade e lama (Conceição, 2008). É particularmente importante, que os alimentos e água estejam próximos das árvores ou das estruturas de sombreamento durante o calor intenso do dia. Somente quando os alimentos e água estão disponíveis perto da sombra, os bovinos podem tirar maior proveito deste recurso.

Infelizmente, as árvores têm vida curta quando estão sujeitas à ação mecânica e química das manadas, e em particular em encabeçamentos elevados. Pois no verão, quando os animais se juntam em grande número sob a sombra das árvores, pode-se verificar a acumulação de lama na base destas. Isso leva à perda das árvores e conseqüentemente da sua sombra. A colocação de cercas em torno do perímetro da árvore, para proteger o sistema radicular, pode proporcionar uma barreira para as vacas (Shearer *et al.*, 1991), e diminuir assim os possíveis danos.

O sombreamento artificial aparece como uma alternativa para aquelas áreas onde o plantio de árvores é impossibilitado ou enquanto se espera pelo seu crescimento (Conceição, 2008). Na ausência de árvores e na dependência do sistema de produção, recorre-se ao sombreamento artificial portátil ou permanente. Nos sombreamentos móveis ou portáteis é bastante utilizada uma tela de fibra sintética, enquanto nos abrigos permanentes utilizam-se vários materiais para cobertura como telhas de barro, chapa galvanizada ou de alumínio, entre outros materiais (Meiros, 2005). Existem parâmetros a ter em conta no projeto de construção da zona de sombreamento para proporcionar condições de conforto, tais como a área, a altura, a orientação, as aberturas laterais (facilitar ventilação), o tipo de pavimento (quando não é de terra), o sistema de alimentação e de fornecimento de água, e o sistema de recolha de resíduos nas zonas de sombreamento permanente (Shearer *et al.*, 1991). Ansell (1981) refere que a estrutura que compõe a sombra deve ter pelo menos uma das seguintes propriedades: alta refletividade, baixa condutividade, baixa emissividade sob a superfície, declive correto do telhado e a altura máxima prática.

Em relação à dimensão da área por animal, não existe um consenso geral. Bond *et al.* (1958) refere uma área mínima de 5,6 m<sup>2</sup> por vaca, enquanto Buffington *et al.* (1983) refere uma área mínima de 4,2 m<sup>2</sup>. Já Hahn (1985) refere entre 1,8 e 2,5 m<sup>2</sup>, e Arias *et al.* (2008) recomenda entre 1,83 e 3,70 m<sup>2</sup>. Contudo, de referir que quanto menor a área de sombra por animal, maior a probabilidade de se verificar agrupamento excessivo de animais.

No que diz respeito ao planeamento da estrutura de sombreamento devem-se considerar os seguintes aspetos: quanto maior altura da sombra, maior o movimento de ar sob a sombra; e quanto menor a altura desta, menor é a difusão e reflexão da energia radiante nos bovinos (Buffington *et al.* 1983). Hahn (1985) recomenda uma altura de 3,6 a 4,2 m em áreas com tardes com céu limpo e ensolaradas, permitindo uma maior circulação de ar fresco. Em áreas com tardes nubladas, a altura das sombras de 2,1 a 2,7 m são mais eficazes para limitar a radiação solar difusa recebida pelos animais. Arias *et al.* (2008) refere que a altura deve ser entre os 2,5 e 4 m para assim existir espaço suficiente para a circulação de ar sob a estrutura de sombreamento, o que está de acordo com a justificação referida por Hahn (1985), embora os intervalos de alturas recomendados não sejam coincidentes.

A circulação natural de ar sob uma estrutura de sombra para além de ser afetada pela altura, é também influenciada pela largura, inclinação do telhado, bem como a presença e/ou o tamanho da abertura de aberturas no cume. A circulação de ar pode ocorrer naturalmente através das aberturas laterais das estruturas ou por ação da estratificação térmica pela qual o ar aquecido cria um fluxo ascendente em direção à abertura no cume (Shearer *et al.*, 1991).

A estrutura da sombra geralmente tem uma relação entre o comprimento e a largura desde 2:1 a mais de 10:1. A circulação de ar é muito reduzida sob a estrutura de sombra se a largura for superior a 12 a 15 m. Se uma estrutura ampla é desejada, ela deve ter várias aberturas contínuas no teto para melhor circulação de ar (Buffington *et al.* 1983).

A orientação da estrutura é uma escolha importante. A escolha da orientação preferencial depende se os animais estão ou não confinados à zona de sombreamento. O alinhamento do eixo longitudinal na direção este-oeste proporciona máximo de aproveitamento da área de sombra sob a estrutura. Esta é a orientação preferida para animais confinados e permite que as instalações de alimentação e abeberamento possam ser sombreadas durante quase todo o verão (Bond *et al.*, 1958; Ansell, 1981; Macfarlane, 1981; Buffington *et al.*, 1983). Por outro lado, quando as vacas não estão confinadas àquela estrutura, a orientação norte-sul é a melhor solução. A vantagem desta orientação permite a entrada da radiação solar, possibilitando a secagem do solo de aproximadamente 35 a 50 % da

área de sombreamento, durante 2 horas da manhã e da tarde. Isto é particularmente importante para estruturas de sombreamento com pavimentos de terra (Beede *et al.* 1987).

Existem muitos estudos que constataam melhorias na performance produtiva de bovinos através do uso de sombra como estratégia de minimização do *stress* térmico por calor. Em relação aos bovinos de leite, Roman-Ponce *et al.* (1977), analisando vacas com acesso a sombra e sem acesso, verificaram que as vacas sombreadas obtiveram as temperaturas retais mais baixas (38,9 vs. 39,4 °C), bem como a taxa de respiração (54 vs. 82 movimentos por minuto) e, ainda, que produziram mais 10 % de leite. Em vacas sem acesso a sombra, Collier *et al.* (1981) observaram uma redução das contrações do rúmen, uma subida das temperaturas retais e do leite, e uma redução da produção leiteira, em comparação com vacas sombreadas

Ingraham *et al.* (1979) constataram que as vacas não sombreadas, num clima moderadamente quente (temperatura diária do ar 22 a 29 °C e 20 a 25 °C, nos 2 períodos de estudo) obtiveram uma temperatura retal mais alta, os níveis corticoides plasmáticos tendiam para valores mais baixos, produziram menos leite e apresentavam menor teor butíroso, quando comparadas com vacas sombreadas. Os mesmos autores registaram para os animais à sombra um aumento médio de 4,0 kg na produção diária de leite. Contudo, o excesso de calor acumulado ao longo do dia não foi completamente dissipado no período noturno, tanto para os animais à sombra e ao Sol. No entanto, verificaram que as vacas não sombreadas perderam mais de calor no período noturno e apresentaram uma temperatura retal menor às 8 horas, sugerindo que ocorre um maior arrefecimento dos animais quando podem irradiar para o céu noturno, e argumentando-se contra o uso de áreas completamente cobertas em climas quentes.

A taxa de concepção parece também melhorar quando as vacas têm acesso à sombra. Num estudo realizado por Roman-Ponce *et al.* (1977), verificaram uma diferença de 44,4 % (54 inseminações artificiais) e 25,3 % (75 inseminações artificiais) para a taxa de concepção de vacas sombreadas e não sombreadas.

Em vacas *Holstein* sombreadas e não sombreadas, ambas pretas e brancas, Hansen (1990) mostrou que a temperatura retal, a temperatura da superfície da pelagem, a taxa de respiração (com boca aberta e ofegante) foram todas afetadas pela interação cor vs. ambiente, tendo registado que as vacas brancas foram menos afetadas pela falta de sombra que as vacas pretas. O ambiente sem sombra causou uma depressão na produção de leite de 1,5 kg dia<sup>-1</sup> nas vacas brancas e 3,3 kg dia<sup>-1</sup> nas vacas pretas.

Segundo Valtorta *et al.* (1996) e Valtorta e Gallardo (2004) ocorreram diferenças na produção de leite em 12 % e 5 %, respectivamente, quando os animais tiveram acesso à sombra e aos mecanismos de resfriamento, tais como, aspersores e ventiladores. Nesse sentido, Collier *et al.* (2006) apontaram que a disponibilidade de sombra é essencial para reduzir as perdas na produção de leite e na eficiência reprodutiva.

Os bovinos de carne também são prejudicados por altas temperaturas, e tal como os bovinos de leite, as raças diferem na capacidade de lidar com o *stress* térmico por calor. McDaniel e Roark (1956) verificaram com o sombreamento, artificial ou natural, houve maiores ganhos de peso vivo das vacas e dos seus vitelos lactentes. McIlvain e Shoop (1970) também constataram um aumento assinalável nos ganhos de peso vivo (8,6 kg) em novilhos *Hereford* durante o verão, em 4 anos de estudo. Os animais procuravam ansiosamente sombra nos dias quentes de verão. Mitlöchner *et al.* (2002) observaram, para novilhos cruzados de *Charolais* e cruzados de *Angus*, em *feedlot* com sombreamento, um maior ganho diário de peso, uma melhoria da qualidade carcaça e a diminuição da taxa de respiração, em relação aos novilhos sem sombra.

## **2. Trabalho experimental**

### **2.1. Objetivos**

Nos Açores os bovinos pastoreiam ao longo de todo o ano. Poucas são as estruturas de estabulação e de armazenamento de alimentos, uma vez que a base da alimentação é a pastagem natural, complementada por forragens conservadas e por concentrado.

Em condições de pastoreio, os animais estão sujeitos à ação direta do clima, que pode atuar negativamente na produtividade, no conforto e no bem-estar animal.

O estudo teve como objetivo, determinar o efeito do uso de sombra artificial em bovinos de leite e carne nas condições climáticas açorianas, durante a estação quente, em condições de temperatura e a radiação solar elevadas, considerando as respostas na taxa de respiração, na temperatura retal e na concentração do cortisol plasmático. Este trabalho pretendeu contribuir para melhorar o conhecimento sobre estas respostas fisiológicas dos bovinos nos Açores, nomeadamente na estação quente. Os valores da taxa de respiração observados foram comparados com os valores estimados pelo matemático e computacional – Torrid (McGovern e Bruce, 2000), tendo-se realizado uma estimativa do balanço térmico dos animais ao Sol e à sombra.

### **2.2. Materiais e métodos**

#### **2.2.1. Localização dos trabalhos experimentais**

Os trabalhos experimentais foram realizados na Ilha da Terceira, arquipélago dos Açores, em 3 explorações localizadas em diferentes pontos da ilha. Na exploração da Granja Universitária, localizada na zona da Achada (bacia leiteira dos Cinco Picos), a 38° 41' 51,911" N e 27° 10' 15,262" W, a uma altitude aproximada de 390 m. Na exploração do Sr. Luís Machado, localizada na freguesia da Terra-Chã, concelho de Angra do Heroísmo, em que os trabalhos realizaram-se em 2 locais diferentes da freguesia, na canada da Guerrilhas, no limite com a freguesia de São Bartolomeu, a 38° 41' 10,126" N e 27° 16' 30,918" W, e na Fonte Faneca, a 38° 41' 24,356" N e 27° 15' 38,776" W, ambas a uma altitude aproximada de 220 m. E na exploração de Sr. António Batista, localizada no concelho da Praia da Vitória, tendo os trabalhos sido realizados em 2 freguesias adjacentes, na freguesia da Lajes, a 38° 44' 56,234" N

e 27° 5' 29,155" W, com uma altitude aproximada de 100, e na freguesia das Fontinhas, a 38° 44' 2,612" N e 27° 6' 52,913" W, com uma altitude aproximada de 270 m.

### **2.2.2. Condições e metodologia do trabalho experimental**

Nos ensaios de campo foram utilizadas a raça *Holstein* (exploração da Granja Universitária), com aptidão para a produção de leite, a *Aberdeen-Angus* (exploração do Sr. Luís Machado) e a *Limousine* (exploração do Sr. António Batista), com aptidão para a produção de carne. O número de animais utilizado em cada raça foi de 4 indivíduos. As vacas tinham pelo menos uma lactação, eram cíclicas e lactantes (entre 10 a 15 semanas), estavam em boas condições sanitárias, tinham um bom índice de condição corporal (entre 3 e 4) e atividade física, assim como dietas e idades semelhantes.

A atividade experimental decorreu em 2 épocas do ano em diferentes condições climáticas. Na estação amena, onde a temperatura do ar e radiação solar não eram muito elevadas – meses de Abril e Maio de 2010 e 2011, e onde não se forneceu sombreamento artificial. Na estação quente – meses de julho e agosto de 2010 e mês de julho de 2011, os animais foram submetidos a 2 condições distintas: expostos à radiação solar direta e com sombra artificial. Na zona de sombreamento foi utilizada uma rede de poliestireno de malha fechada e cor verde escura

Na estação amena a atividade experimental teve a duração de apenas 1 dia para cada uma das raças. Nestas condições, foi utilizado um grupo de 4 animais sem sombreamento.

A atividade experimental, na estação quente, incluiu a utilização de 2 grupos de animais em cada raça, com 2 animais por grupo, durante 2 dias. No primeiro dia os animais do grupo I permaneciam ao Sol, e os animais do grupo II permaneceram constantemente à sombra, invertendo-se as condições no segundo dia. Contudo, nas raças *Holstein* e *Aberdeen-Angus*, devido às alterações repentinas do tempo (aumento da nebulosidade e precipitação) e a dificuldades técnicas (dificuldades no deslocamento e retenção dos animais no local de trabalho que contribuíam para situações de *stress* de manejo), o trabalho experimental teve de ser prolongado por mais dias. Na raça *Limousine*, devido às condições físicas de trabalho (falta de mais uma cerca para retenção dos animais, sem que houvesse o risco de saírem da zona de trabalho), não foi possível ter um grupo ao Sol e à sombra no mesmo dia, tendo sido colocado os 4 animais à sombra no primeiro dia, e os mesmos 4 ao Sol, no segundo dia.

### **2.2.3. Registo de dados fisiológicos e recolha e tratamento de amostras biológicas**

Os dados fisiológicos foram obtidos através do registo da taxa de respiração e da temperatura retal. A taxa de respiração foi registada de 30 em 30 minutos, sempre que os animais estavam nas zonas estabelecidas para permanecerem durante a atividade experimental. A temperatura retal foi registada 3 vezes ao dia, quer na estação amena quer na estação quente, às 9, 15 e 18 horas, com auxílio de um termómetro digital.

As amostras sanguíneas, em ambas as estações, foram recolhidas também 3 vezes por dia, e tal como a temperatura retal, a primeira era recolhida por volta das 9 horas, a segunda por volta das 15 horas e a terceira próxima das 18 horas. As recolhas de sangue foram efetuadas a partir da veia coccígea, diretamente para um tubo em vácuo, já com o anticoagulante incluído.

Em relação ao tratamento do sangue, os tubos de recolha eram imediatamente colocados numa caixa térmica com gelo, seguindo logo que possível para laboratório onde era realizada a centrifugação, durante 10 minutos a 2500 rpm. Após esse procedimento o plasma era extraído por pipetagem e acondicionado em tubos, e congelado, seguindo posteriormente para análise.

A análise das amostras foi efetuada no Laboratório de Endocrinologia, da Faculdade de Medicina Veterinária, da Universidade Técnica de Lisboa, pelo método do radioensaio (RIA), sem extração de amostra, utilizando um *kit* comercial (*Coat-A-Count, Siemens Healthcare Diagnostics Inc, Los Angeles, CA, EUA*). O coeficiente de variação intra-ensaio foi de 8,0 % para todas as amostras (Rodbard, 1974) e o intervalo de calibração entre 0,1 e 20  $\mu\text{g dl}^{-1}$ .

### **2.2.4. Registo de dados meteorológicos**

Os dados meteorológicos (temperatura do ar, °C, humidade relativa, %, e velocidade do vento,  $\text{m s}^{-1}$ ) foram obtidos utilizando os registos da rede de estações meteorológicas existentes na ilha, ou, quando se considerou que aquelas estações não refletiam o clima local, por estarem demasiado longe da zona de experimentação, instalou-se uma estação meteorológica móvel. Quanto aos dados meteorológicos utilizados para a exploração da Granja Universitária, recorreu-se à estação meteorológica instalada na própria exploração. Em relação à exploração do Sr. Luís Machado, em virtude da proximidade entre os 2 locais, recorreu-se à estação meteorológica situada no antigo Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores (CLIMAAT & CLIMARCOST), na freguesia da Terra-Chã, a uma altitude

de cerca de 100 m. E por fim, na exploração do Sr. António Batista instalou-se uma estação meteorológica móvel, equipada com um *datalogger Data Hog 2* da *Sky Instruments*, onde foram efetuados os registos dos dados meteorológicos.

Relativamente à temperatura do globo negro, foi instalado um dispositivo móvel, nos locais de experimentação, composto por um sensor de temperatura de globo negro e *datalogger* modelo DT50 da *Datataker*, onde foram armazenados as observações daquele parâmetro. Nos ensaios da estação quente, foram instalados em simultâneo 2 globos negros, um exposto a radiação solar e o outro à sombra.

### 2.2.5. Cálculo dos valores de THI e BGHI.

Os índices de conforto térmico, THI e BGHI, para as condições meteorológicas registadas nos dias de ensaio, foram calculados aplicando as equações mencionadas em 1.7, e que se seguem abaixo:

$$THI = T_{bs} + 0,36 T_{dp} + 41,5 \text{ (Thom, 1958)}$$

$$BGHI = T_{bg} + 0,36 T_{dp} + 41,4 \text{ (Buffington et al., 1981)}$$

Onde:

$T_{bs}$  é a temperatura do bolbo seco;

$T_{dp}$  é a temperatura do ponto de orvalho;

$T_{bg}$  é a temperatura do globo negro.

A temperatura do ar e a temperatura do globo negro foram obtidas, respetivamente, através das estações meteorológicas e dos sensores instalados para o efeito. Quanto à temperatura do ponto de orvalho esta foi calculada a partir da temperatura do ar e da humidade relativa no programa *Psicro v1.4* – DAU-UFRRJ-RC/2001.

A determinação do THI e BGHI permitiu correlacionar estes índices com as taxas de respiração e as temperaturas retais. Desta forma tentou-se perceber como os animais responderam fisiologicamente perante um ambiente térmico mais quente, bem como verificar se ocorreram diferenças entre os animais mantidos à sombra e ao Sol. O ensaio em clima ameno serviu como ponto de referência da avaliação daqueles parâmetros fisiológicos com animais sujeitos a condições mais semelhantes às da neutralidade térmica.

### 2.2.6. Análise estatística

Na análise estatística, os parâmetros analisados foram a taxa de respiração, a temperatura retal e a concentração do cortisol plasmático, onde se pretendeu testar a existência de diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) entre as condições de ambiente térmico em estudo (animais ao Sol e à sombra na estação quente, e animais ao Sol na estação amena) Testou-se também a existência de diferenças estatísticas entre a hora da medição ou de recolha e os parâmetros: temperatura retal e a concentração de cortisol plasmática. Para isso, utilizaram-se os valores das medições da taxa de respiração e da temperatura retal, e os resultados das amostras de plasma sanguíneo, para análise do cortisol.

O programa estatístico utilizado foi o *SPSS. 19*, e os testes efetuados foram a análise de variância simples (*Anova One way*), recorrendo-se em alguns casos ao teste T – amostras independentes (*Independet Samples – T-test*). Isto aconteceu quando não se tinham dados das 3 condições de ambiente térmico, na análise da concentração do cortisol plasmático, tendo em conta a hora em que se efetuou a recolha da amostra.

### 2.2.7. Aplicação do modelo Torrid

#### 2.2.7.1. Estimativa do balanço térmico e taxa de respiração dos animais ao Sol e à sombra

O modelo Torrid foi usado para estimar o balanço térmico e a taxa de respiração dos animais ao Sol e à sombra, alterando os cenários climáticos das 2 exposições à radiação. Assim, foram introduzidos dados referentes ao animal (o peso vivo, a espessura da pelagem, e a produção total de calor metabólico), e as condições climáticas registadas (temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento).

A estimativa do balanço térmico avaliou as diferentes componentes que constituem o balanço térmico, bem como permitiu visualizar a sua evolução diária para as duas situações em estudo. Em relação aos valores obtidos da taxa de respiração a partir desta simulação, estes foram posteriormente comparados com os valores das taxas de respiração observada

O modelo Torrid utiliza a seguinte expressão (equação 16) para calcular o balanço térmico dos bovinos é seguinte:

$$Q_M - E_r - HS = E_p + R + C_{cv} - R_s \quad (16)$$

Onde  $H_M$  representa o fluxo de calor metabólico produzido,  $E_r$  o fluxo de perdas de calor latente por evaporação através do trato respiratório,  $H_S$  o calor armazenado no corpo,  $E_p$  o fluxo perdas de calor latente por evaporação através da superfície cutânea,  $R$  as perdas por radiação,  $C_{cv}$  as perdas por convecção e  $R_s$  o ganho de calor por radiação solar.

Na aplicação do modelo Torrid para simulação diária do balanço térmico nos animais da raça *Holstein*, foi considerado um peso vivo médio de 600 kg, uma taxa de sudação máxima de  $120 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , uma produção de calor metabólico de 1038 W, uma espessura de pelagem de 5 mm, o índice de nebulosidade foi nível 3 (numa escala de 0 a 8), uma velocidade de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$  e a expressão de Mitchell (1928), para calcular a área de superfície corporal ( $A_c = 0,09 \text{ W}^{0,67}$ ).

Nos animais da raça *Aberdeen-Angus*, para simulação diária do balanço térmico, considerou-se um peso vivo médio de 600 kg, uma taxa de sudação máxima de  $85 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , uma produção de calor metabólico de 633 W, uma espessura de pelagem de 5 mm, o índice de nebulosidade também do nível 3 e a velocidade do ar considerada foi de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Uma vez que a aptidão destes animais é produção de carne, e embora apresentam peso médio considerado seja igual ao da raça *Holstein* (com aptidão para produção de leite), a expressão utilizada para calcular a área de superfície corporal foi a de Brody (1945), ( $A_c = 0,13 \text{ W}^{0,56}$ ), uma vez que animais apresentam uma menor relação entre superfície corporal e massa corporal. Também se procedeu ao ajuste do índice de reflexão de 0,15 (que é indicado no modelo) para 0,1, uma vez que os animais desta raça apresentavam uma pelagem totalmente preta.

Na simulação diária do balanço térmico nos animais da raça *Limousine*, o peso vivo médio utilizado foi de 650 kg, a taxa de sudação máxima foi de  $85 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , a produção de calor metabólico de 662 W. Utilizou-se a mesma espessura de pelagem e a cobertura de nuvens iguais às raças anteriores. Em relação à velocidade do ar, o valor utilizado foi de  $0,1 \text{ m s}^{-1}$ , dado que os animais permaneceram num cercado com paredes de aproximadamente 2 metros de altura. Uma vez que a aptidão destes animais também é carne, a expressão utilizada para calcular a área de superfície corporal foi a mesma que se utilizou na raça *Aberdeen-Angus*.

Os dados meteorológicos utilizados foram as médias horárias calculadas a partir dos valores da temperatura do ar e da humidade relativa registados nos dias em que decorreu a atividade, para cada uma das raças. Para o cálculo da produção de calor metabólico recorreu-se às equações de ARC (1980) e AFRC (1993), onde foi considerada uma produção de leite média de  $24 \text{ kg dia}^{-1}$  para a raça *Holstein*, de acordo com os dados registados na exploração durante o período experimental. Para as raças *Aberdeen-Angus* e *Limousine* considerou-se um valor médio de  $6 \text{ kg dia}^{-1}$ .

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Raça *Holstein*

A análise dos dados experimentais, com a raça *Holstein*, foi efetuada através da correlação entre os parâmetros fisiológicos observados (taxa de respiração e a temperatura retal) e os diferentes parâmetros climáticos (temperatura do ar, a temperatura do globo negro e a humidade relativa), assim como com os índices de conforto (THI e o BGHI). Também se efetuaram análises para determinar as diferenças estatísticas entre os parâmetros fisiológicos observados (taxa de respiração, temperatura retal e níveis hormonais de cortisol) e as condições de exposição solar (animais ao sol e à sombra na estação quente, e animais ao sol na estação amena).

No período experimental da estação quente obteve-se uma temperatura média do ar de  $21,48 \pm 1,75$  °C, uma temperatura média do globo negro de  $29,39 \pm 4,81$  °C ao Sol e de  $24,95 \pm 2,38$  °C à sombra, e uma humidade relativa média de  $84,58 \pm 8,78$  %. Para a estação amena, verificou-se uma temperatura média do ar de  $14,94 \pm 1,10$  °C, uma temperatura média do globo negro de  $24,10 \pm 3,56$  °C ao Sol, e uma humidade relativa média de  $84,58 \pm 3,76$  %. Estes valores médios foram obtidos com base em valores recolhidos entre as 9 e as 18 horas dos dias em que decorreu a atividade experimental.

Nos índices de conforto térmico, na estação quente, verificou-se um THI médio de  $69,42 \pm 2,02$  e um BGHI médio de  $77,79 \pm 4,97$  ao Sol e  $73,47 \pm 2,65$  à sombra para a estação quente. Já na estação amena, verificou-se um THI médio de  $60,25 \pm 1,23$  e um BGHI médio de  $69,4 \pm 3,57$ . Estes valores médios foram calculados a partir dos valores horários calculados a partir dos valores climáticos obtidos entre as 9 e 18 horas, nos dias em que decorreu a atividade. Segundo a classificação de Armstrong (1994), 15,79 % dos THI registados entre as 9 e as 18 horas encontraram-se no nível de *stress* ameno ( $72 \leq \text{THI} \leq 78$ ), durante o período experimental na estação quente.

#### 3.1.1. Taxa de respiração

Observou-se uma correlação entre a taxa de respiração e a temperatura do ar, a qual foi superior nos animais expostos diretamente à radiação solar. Nos animais ao sol, quando se reuniram os valores observados na estação amena e na estação quente, obteve-se uma

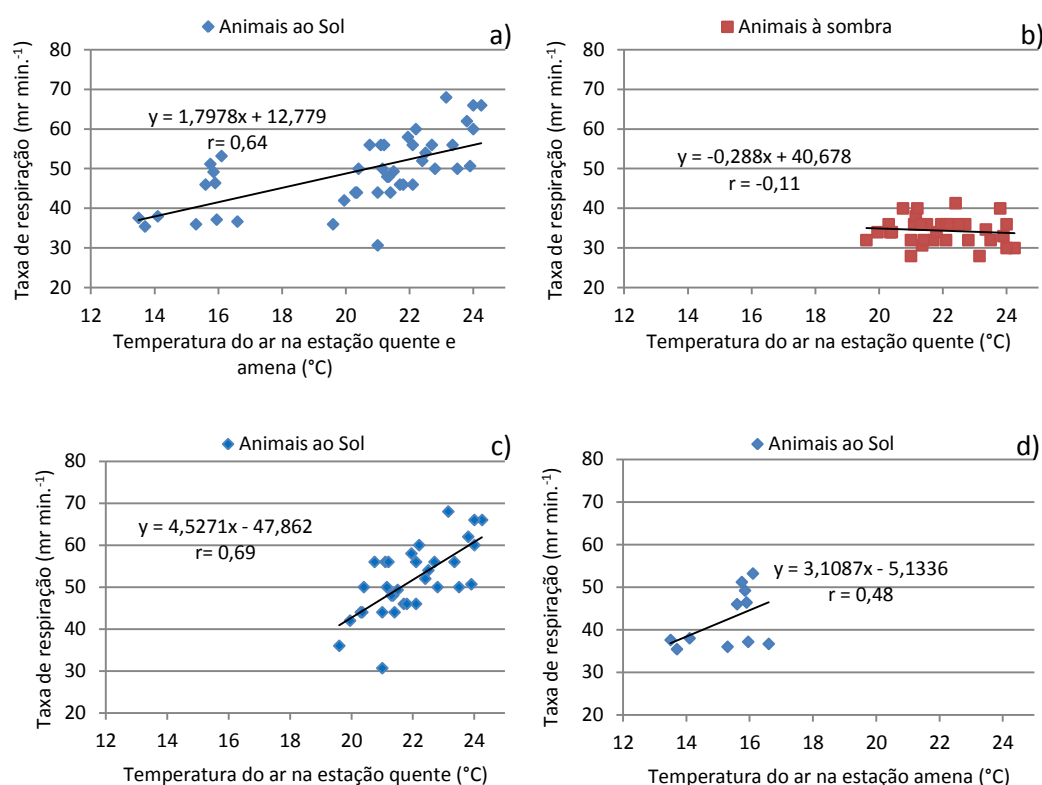


Figura 2 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Holstein*.

correlação positiva forte (0,64), verificando-se que por cada grau centígrado de aumento na temperatura do ar, os animais aumentavam cerca de 1,80 movimentos respiratórios por minuto (Figura 2a). Em relação aos animais à sombra (Figura 2b), apenas efetuada na estação quente, verificou-se uma correlação negativa fraca ( $r = -0,11$ ), o que é de se esperar dado que a temperatura do ar nas zonas sombreadas é normalmente inferior à temperatura do ar nas zonas com exposição direta ao sol, pelo que os animais à sombra não apresentaram uma correlação com a temperatura do ar, uma vez que esta foi registada fora da zona de sombreamento

Quando os dados obtidos com animais ao Sol, na estação amena e quente, foram observados separadamente, verificou-se uma correlação maior entre temperatura do ar e a taxa de respiração na estação quente ( $r = 0,69$ ), do que para a estação amena ( $r = 0,48$ ), como é observável nas Figuras 2c e 2d. Assim, para a estação amena verificou-se um aumento de  $3,1 \text{ mr min.}^{-1}$  por cada aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  da temperatura do ar, enquanto na estação quente o mesmo aumento da temperatura do ar conduziria a um aumento de  $4,53 \text{ mr min.}^{-1}$ .

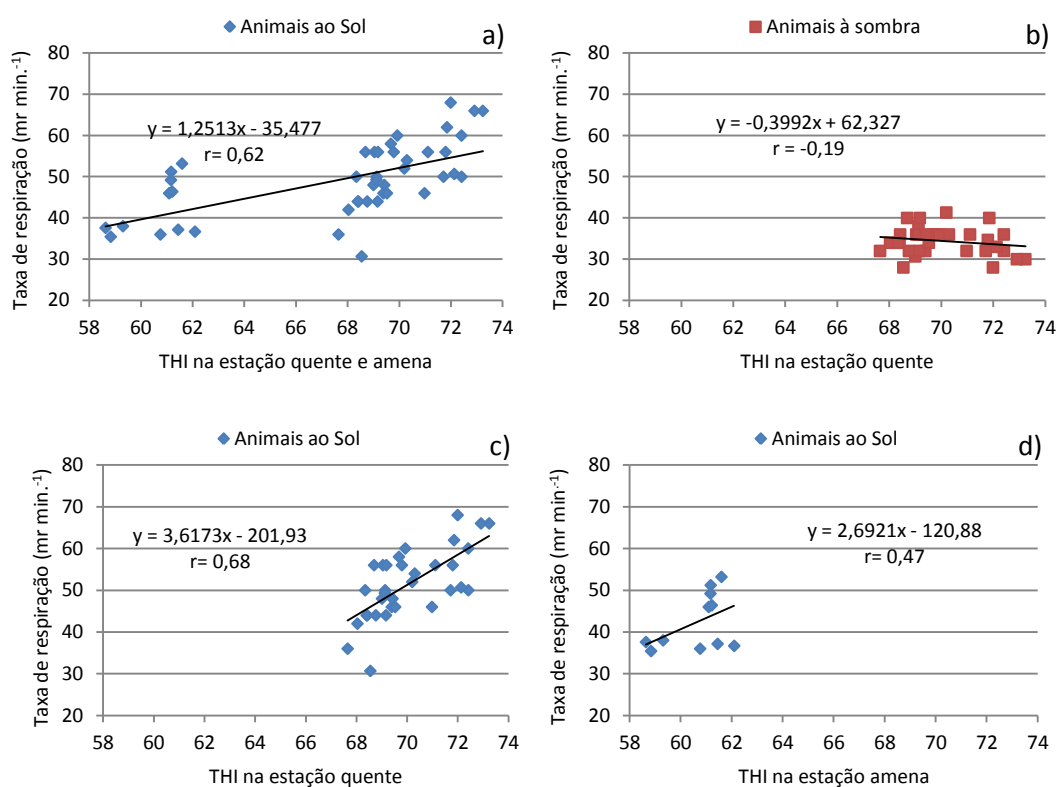


Figura 3 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e o THI, no período experimental para a raça *Holstein*.

Quanto à relação entre a taxa de respiração e o THI, verificou-se também que a correlação entre eles foi maior nos animais expostos diretamente à radiação solar. A correlação obtida para os animais ao Sol, na estação amena e quente, foi uma correlação positiva forte ( $r = 0,62$ ), verificando-se por cada unidade de aumento no THI, os animais aumentavam cerca de 1,28 movimentos respiratórios por minuto (Figura 3a). Em relação aos animais à sombra, verificou-se uma correlação negativa fraca ( $r = -0,19$ ), e tal como aconteceu com a temperatura do ar, este é um resultado espectável, já que a temperatura do ar utilizada no cálculo do THI foi registada fora da zona de sombreamento (Figura 3b).

Verificou-se uma maior correlação entre o THI e a taxa de respiração na estação quente ( $r = 0,68$ ), quando comparada com a obtida na estação amena ( $r = 0,47$ ), quando os dados obtidos com animais ao Sol, naquelas estações, foram observados separadamente (Figuras 3c e 3d). Tal como o observado com a temperatura do ar, quanto mais elevado o THI, maior é a resposta fisiológica animal através do aumento de movimentos respiratórios por minuto,

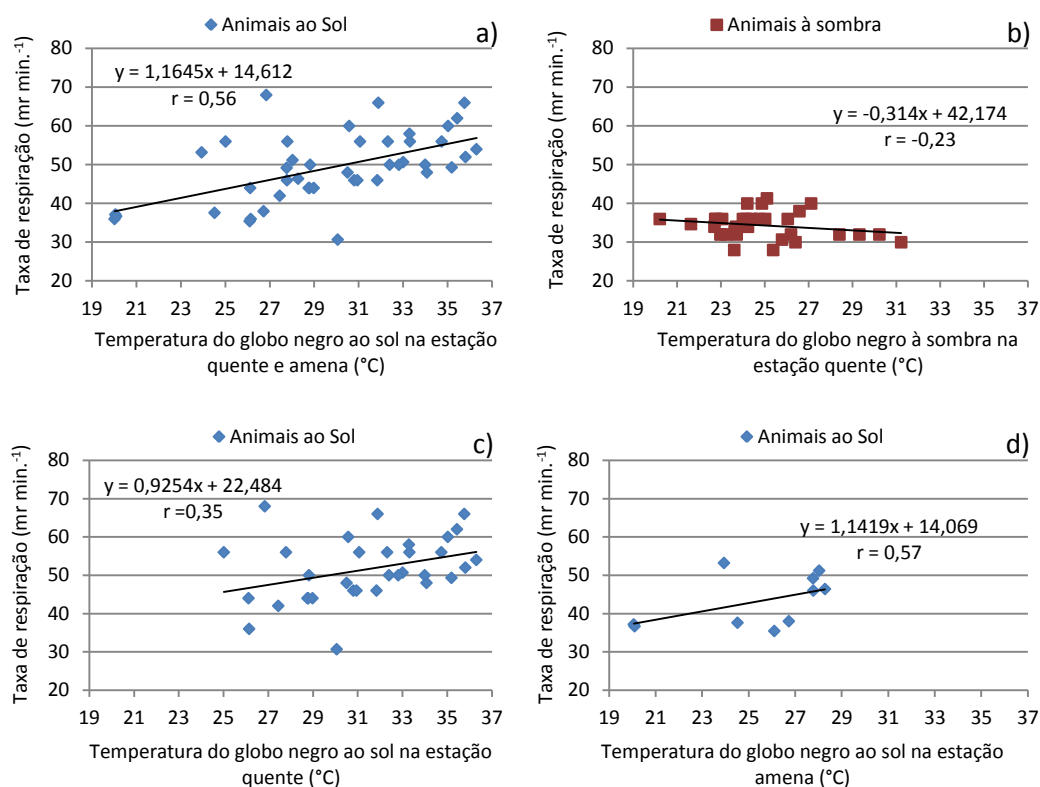


Figura 4 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Holstein*.

tendo-se registado na estação amena um aumento de  $2,69 \text{ mr min.}^{-1}$ , por cada unidade do THI, e na estação quente um aumento de  $3,62 \text{ mr min.}^{-1}$ .

Relativamente à taxa de respiração e à temperatura do globo negro, verificou-se para os animais expostos ao Sol (Figura 4a), na estação quente e amena, uma correlação positiva fortes ( $r = 0,56$ ) Contudo, contrariamente à temperatura do ar e ao THI, a correlação diminui para a estação quente ( $r = 0,35$ ) e pode-se dizer que manteve-se constante para a estação amena ( $r = 0,57$ ). Assim, verificou-se para a estação quente (Figura 4c) que um aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  na temperatura do globo negro proporcionou um aumento de  $0,93 \text{ mr min.}^{-1}$ , enquanto na estação amena (Figura 4d), este aumento foi de  $1,14 \text{ mr min.}^{-1}$ , o que resultou, aproximadamente, num aumento de  $1 \text{ mr min.}^{-1}$  por cada aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  de temperatura do globo negro.

Quando foi comparada a taxa de respiração dos animais à sombra e a temperatura do globo negro (Figura 4b), a correlação foi fraca negativa ( $r = -0,23$ ). Isto pode ser explicado pelo facto de o aumento da temperatura do globo negro à sombra ser determinado mais pela temperatura do ar, uma vez que só uma pequena fração da radiação solar penetrou na rede de

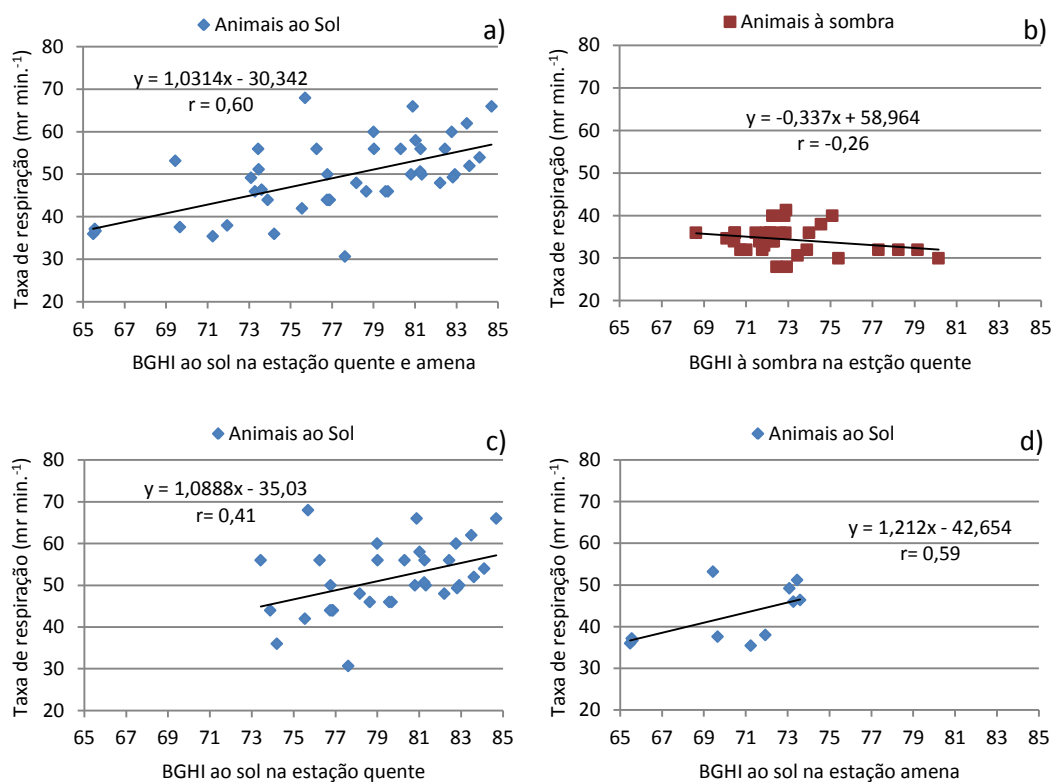


Figura 5 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e o BGHI, no período experimental para a raça *Holstein*.

sombreamento. Deste modo, as alterações registadas no ambiente térmico não foram suficientes para desencadear uma resposta fisiológica de termorregulação ao nível da taxa de respiração.

A relação entre o BGHI e a taxa de respiração, para os animais ao Sol (na estação quente e amena), registou uma correlação positiva forte ( $r = 0,6$ ), onde se verificou o aumento de cerca de  $1,03 \text{ mr min}^{-1}$  por cada unidade do BGHI (Figura 5a). Enquanto nos animais à sombra (Figura 5b), a correlação do BGHI com a taxa de respiração apresentou-se negativa fraca ( $r = -0,26$ ), resultando do efeito do sombreamento já anteriormente explicado, pois o BGHI foi calculado a partir da temperatura do globo negro.

A análise entre a taxa de respiração dos animais ao Sol e o BGHI (Figura 5c), na estação quente, registou uma correlação positiva fraca ( $r = 0,41$ ). Contudo, verifica-se que o aumento da taxa de respiração ( $1,08 \text{ mr min}^{-1}$ ) é quase idêntico àquele que se verificou quando se considerou os dados referentes às 2 estações. Para a estação amena, verifica-se uma situação mais ou menos semelhante, em que o valor da correlação é um pouco superior ( $r = 0,59$ ) ao

Quadro 3 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça *Holstein*.

Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Taxa de respiração média ( $\text{mr min.}^{-1}$ )	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	66	51,30	8,99	1,11	30,00	68,00
Sombra	66	34,24	3,34	0,41	28,00	46,00
Estação amena						
Sol	44	42,77	8,49	1,28	32,00	64,00

anterior, verificando-se uma correlação positiva forte, e um aumento de  $1,21 \text{ mr min.}^{-1}$  por unidade de BGHI (Figura 5d).

Quando realizada a análise estatística para determinar o efeito das diferentes condições de ambiente térmico sobre a taxa de respiração dos animais, obteve-se os resultados que se encontram reunidos no Quadro 3. Assim, a taxa de respiração média dos animais ao Sol, na estação quente foi de  $51,30 \pm 8,99 \text{ mr min.}^{-1}$ , enquanto à sombra, a taxa de respiração média foi de  $34,24 \pm 3,34 \text{ mr min.}^{-1}$ .

Na comparação entre as taxas de respiração da estação quente, dos animais ao Sol e à sombra obteve-se uma diferença altamente significativa ( $p < 0,001$ ). Para a estação amena, em que apenas foi realizada com animais ao Sol, verificou-se uma média de  $42,77 \pm 8,49 \text{ mr min.}^{-1}$ , e quando comparada com as taxas de respiração da estação quente (ao Sol e à sombra) verificaram-se também diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ). Assim, a taxa de respiração média mais elevada foi a dos animais ao Sol, na estação quente, seguindo-se a observada na estação amena, e verificando-se que a taxa de respiração média dos animais à sombra, na estação quente, foi a mais baixa.

### 3.1.2. Temperatura retal

Na estação quente e amena, a relação da temperatura retal dos animais ao Sol com a temperatura do ar resultou numa correlação positiva forte ( $r = 0,50$ ), onde o aumento de  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  originou uma subida de  $0,036 \text{ }^\circ\text{C}$  na temperatura retal dos animais (Figura 6a). Nos animais à sombra registou-se uma correlação positiva fraca ( $r = 0,39$ ), o que era espectável dadas as razões que anteriormente foram referidas para a taxa de respiração, verificando-se que a temperatura retal dos animais à sombra aumentou  $0,048 \text{ }^\circ\text{C}$  por cada  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura do

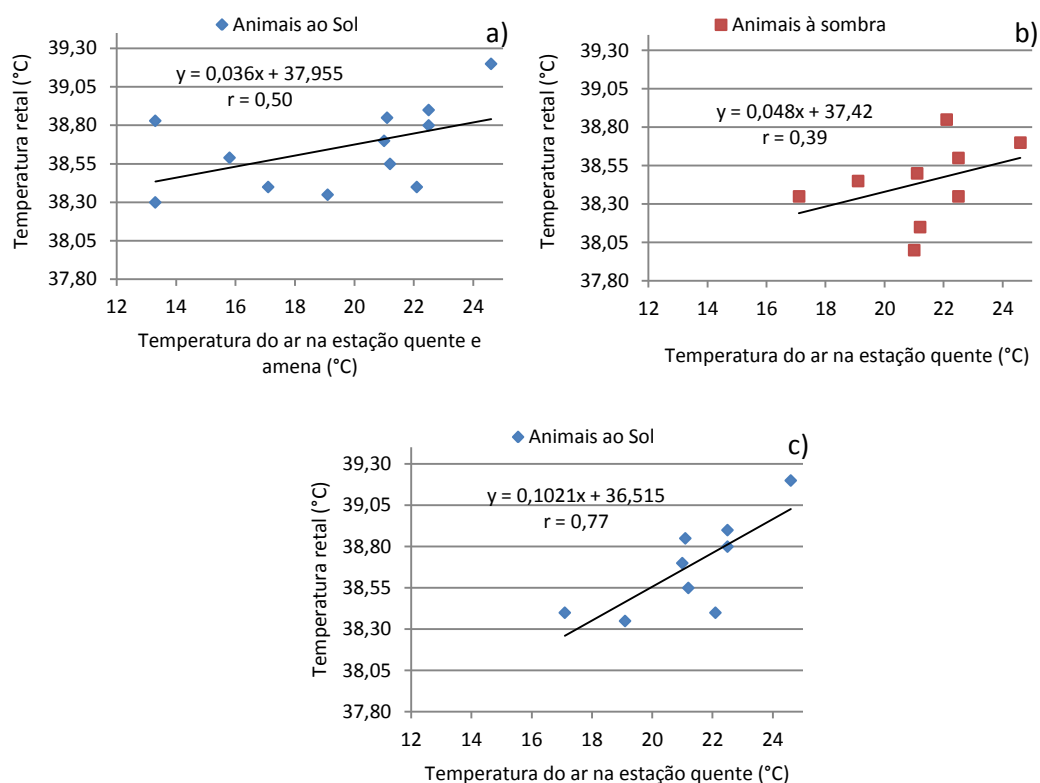


Figura 6 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e a temperatura do ar (°C), no período experimental para a raça *Holstein*.

ar. (Figura 6b). Contudo, na estação quente, quando analisou-se a relação da temperatura retal dos animais ao Sol com a temperatura do ar, verificou-se uma subida do valor da correlação ( $r = 0,77$ ), bem como, por cada grau centígrado de aumento da temperatura do ar, registou-se um aumento de  $0,10$  °C da temperatura retal (Figura 6c).

Comparando a temperatura retal em função do THI, verificou-se que os animais ao Sol, considerando os dados das 2 estações, apresentaram um valor da correlação menor que os animais à sombra (respetivamente,  $r = 0,43$  e  $r = 0,50$ ). A correlação positiva forte que se registou para os animais à sombra pode ter resultado da humidade relativa do ar, pois esta é um dos parâmetros climáticos que integra o índice THI, e durante os dias em que decorreu a atividade experimental registou-se valores elevados deste parâmetro. O incremento de uma unidade do THI desencadeou um aumento na temperatura retal de  $0,023$  °C para os animais ao Sol e de  $0,053$  °C para os animais à sombra (Figuras 7a e 7b). Contudo, quando avaliada individualmente, a relação do THI com a temperatura retal registada na estação quente, para os animais ao Sol, verificou-se uma correlação superior à dos animais com sombreamento, na mesma estação. Assim, a relação da temperatura retal com o THI para os animais ao Sol, na

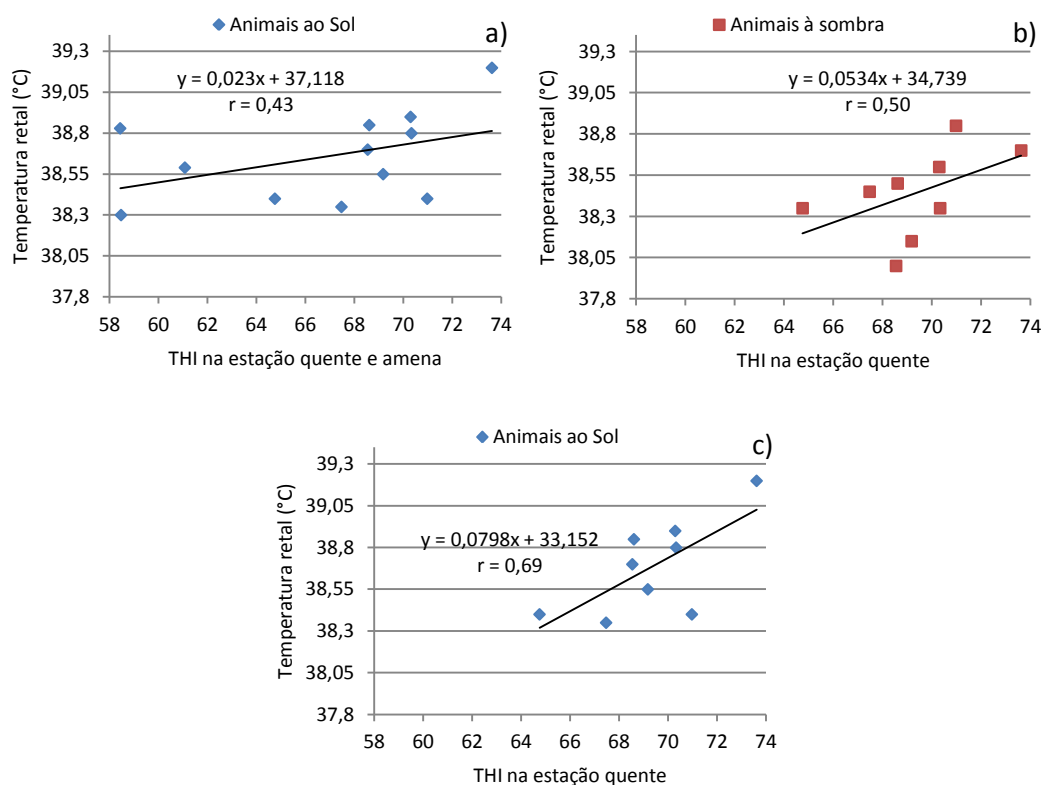


Figura 7 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e o THI, no período experimental para a raça *Holstein*.

estação quente apresentou um  $r$  de 0,69, em que um aumento de uma unidade de THI resultou num aumento aproximado de 0,08 °C da temperatura retal (Figura 7c).

Quanto à relação da temperatura do globo negro com a temperatura retal verificou-se que, quer para os animais ao Sol (estação amena e quente), quer para os animais à sombra, um aumento de 1 °C da temperatura do globo negro resultou num aumento aproximado de 0,03 °C da temperatura retal. Contudo, o valor de  $r$  foi maior para os animais ao Sol, 0,65, o que deu uma correlação positiva forte (Figura 8a), enquanto para os animais à sombra o valor de  $r$  foi de 0,25, ou seja, uma correlação positiva fraca (Figura 8b).

Quando a estação quente e a amena foram analisadas separadamente, verificou-se que o aumento de 1°C da temperatura do globo negro proporcionou um aumento da mesma ordem na temperatura retal, respetivamente, 0,035 e 0,032 °C. Contudo, apresentaram valores de  $r$  diferentes, pois, para a estação quente, a correlação foi de 0,71, sendo esta uma correlação positiva forte (Figura 8c), enquanto na estação amena foi de 0,43, ou seja, uma correlação positiva fraca (Figura 8d).

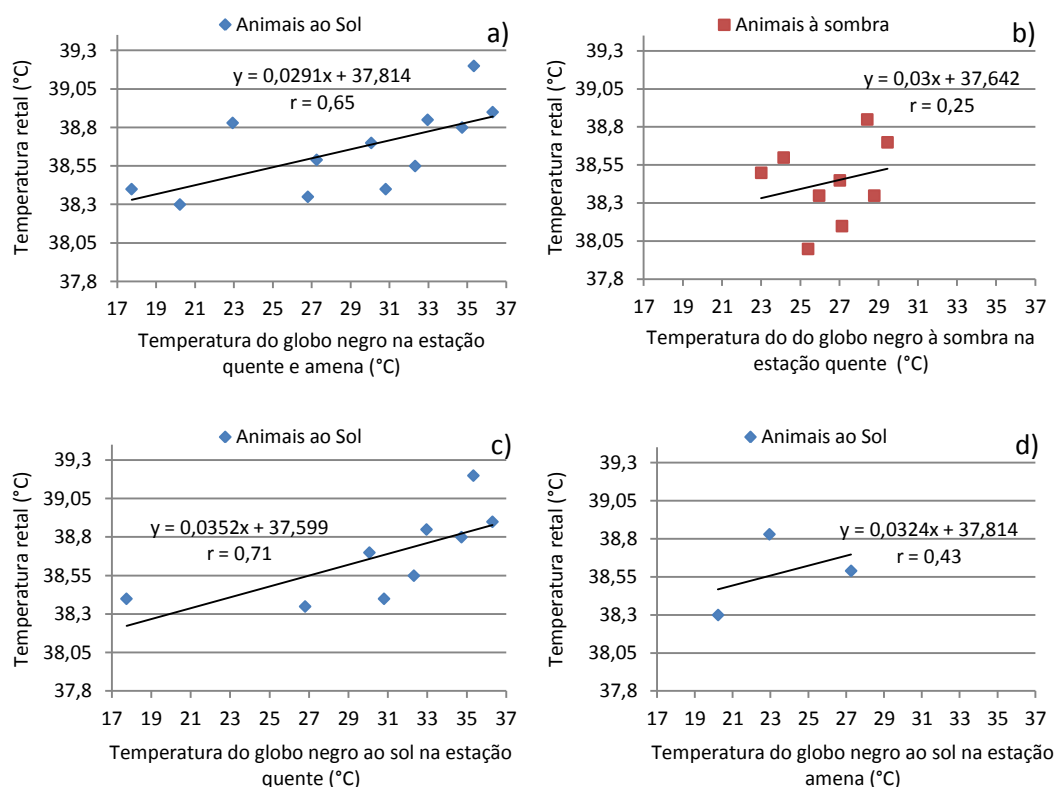


Figura 8 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do globo negro (°C), no período experimental para a raça *Holstein*.

De referir que apesar do acréscimo da temperatura retal por 1 °C de temperatura do globo negro ser semelhante ao Sol e à sombra na estação quente, a variação na temperatura do globo negro foi maior nos animais ao Sol o que resultou em maiores flutuações de temperatura retal.

Na estação quente e amena, verificou-se que por cada unidade de BGHI o aumento da temperatura retal foi ligeiramente inferior nos animais ao Sol em comparação com os animais à sombra. Ou seja, enquanto para um aumento de uma unidade BGHI, os animais ao Sol aumentaram aproximadamente 0,023 °C na temperatura retal (Figura 9a), os animais à sombra aumentaram 0,036 °C (Figura 9b). Contudo, o valor da correlação foi superior ( $r = 0,61$ ) para os animais ao Sol do que o registado nos animais à sombra ( $r = 0,35$ ).

Ao analisar-se os dados da temperatura retal da estação quente e amena separadamente, verificou-se em ambas que o aumento de uma unidade de BGHI desencadeou um incremento na temperatura retal semelhante ao que se verificou nos animais à sombra, ou seja, 0,034 e 0,033 °C, respetivamente. A correlação foi positiva forte ( $r = 0,70$ ) para os animais

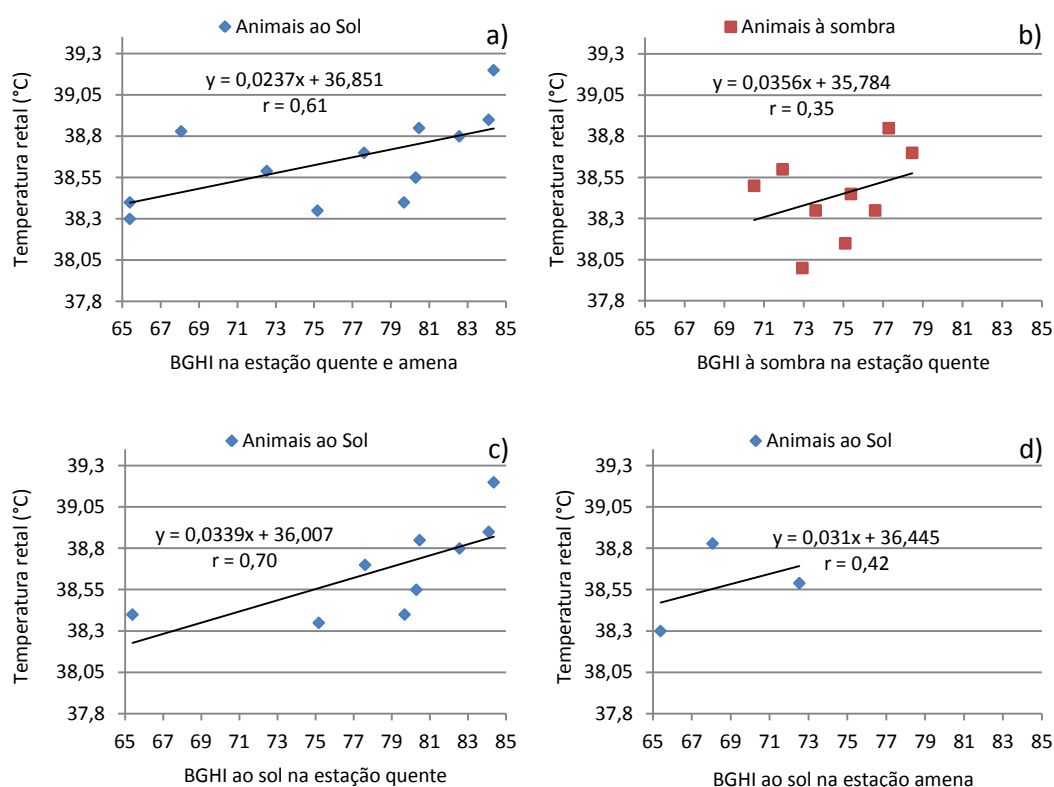


Figura 9 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e BGHI, no período experimental para a raça *Holstein*.

ao Sol na estação quente (Figura 9c) e positiva fraca ( $r = 0,42$ ) para a estação amena (Figura 9d).

Como o BGHI é calculado a partir da temperatura do globo negro, verifica-se a mesma situação referida anteriormente, ou seja, apesar dos valores da variação da temperatura retal dos animais ao Sol e à sombra terem sido semelhantes, a maior flutuação do BGHI nos animais ao Sol ampliou o valor da variação da temperatura retal.

Quadro 4 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal (°C) na estação quente (ao Sol e à sombra), e na estação amena (ao Sol) para a raça *Holstein*.

Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Temperatura retal média (°C)	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	18	38,68	0,30	0,072	38,10	39,30
Sombra	18	38,46	0,30	0,070	37,90	39,00
Estação amena						
Sol	12	38,57	0,34	0,097	38,03	39,10

Quando analisadas as diferenças estatísticas entre as temperaturas retais e as condições do ambiente térmico em estudo (animais ao Sol e à sombra na estação quente, e animais ao Sol na estação amena), verificou-se uma temperatura retal média para os animais ao Sol na estação quente de  $38,68 \pm 0,30$  °C, de  $38,46 \pm 0,30$  °C para os animais à sombra, na mesma estação, e de  $38,57 \pm 0,34$  °C para os animais na estação amena (Quadro 4). Assim, a temperatura retal média mais elevada foi encontrada nos animais ao Sol na estação quente, seguindo-se a da estação amena e por fim a dos animais à sombra na estação quente. Relativamente às diferenças estatísticas na estação quente verificou-se que estas existiram entre os animais ao Sol e à sombra ( $p < 0,05$ ). Contudo, não se verificaram diferenças estatísticas estação quente e na estação amena ( $p > 0,05$ ).

Ao analisarem-se as diferenças estatísticas entre as diferentes condições de ambiente térmico em estudo, considerando as horas em que foram realizadas as medições da temperatura retal (Quadro 5), observou-se para as 9 horas uma média de  $38,38 \pm 0,25$  °C para os animais ao Sol, e de  $38,46 \pm 0,14$  °C para os animais à sombra; ambas registadas na estação quente. Na estação amena, os animais registaram uma média de  $38,30 \pm 0,32$  °C. Quando aquelas condições ambientais foram comparadas entre si, constatou-se que não houve

Quadro 5 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal (°C) na estação quente (ao Sol e à sombra), e na estação amena ao (Sol) para as 9, 15 e 18 horas na raça *Holstein*.

Tempo (h)	Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Temperatura retal média (°C)	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
9	Estação quente						
	Sol	4	38,38	0,25	0,13	38,10	38,70
	Sombra	4	38,40	0,14	0,07	38,20	38,50
	Estação amena						
	Sol	4	38,30	0,32	0,16	38,03	38,73
15	Estação quente						
	Sol	8	38,86	0,26	0,09	38,50	39,30
	Sombra	8	38,45	0,27	0,09	38,00	38,80
	Estação amena						
	Sol	4	38,60	0,15	0,08	38,43	38,80
18	Estação quente						
	Sol	6	38,65	0,23	0,09	38,40	39,00
	Sombra	6	38,52	0,43	0,17	37,90	39,00
	Estação amena						
	Sol	4	38,83	0,32	0,16	38,37	39,10

diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as temperaturas retais. Estes resultados eram espetáveis, já que às 9 horas os animais ainda não tinham estado sujeitos ao tratamento experimental com sombreamento artificial, permitindo averiguar se os animais apresentavam valores homogêneos da temperatura retal.

Relativamente às 15 horas, verificou-se uma temperatura retal média, na estação quente, de  $38,86 \pm 0,26$  °C para os animais ao Sol e de  $38,45 \pm 0,27$  °C para os animais à sombra. Na estação amena, registou-se uma temperatura retal média de  $38,60 \pm 0,15$  °C. Ao contrário do que se registou às 9 horas, às 15 horas observaram-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os animais ao Sol e à sombra na estação quente. Contudo, não se verificaram diferenças significativas entre a temperatura retal dos animais ao Sol na estação quente e amena, nem entre a dos animais à sombra e os animais ao sol na estação amena ( $p > 0,05$ ).

Às 18 horas, observou-se uma temperatura retal média de  $38,65 \pm 0,23$  °C para os animais ao Sol na estação quente, de  $38,52 \pm 0,43$  °C para os animais à sombra na mesma estação, e de  $38,83 \pm 0,32$  °C para os animais ao Sol da estação amena. Não se verificaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as temperaturas retais dos animais nas diferentes condições de ambiente térmico em estudo

### 3.1.3. Concentração de cortisol plasmático

No Quadro 6 estão reunidos as médias, os desvios padrões, os erros padrões, os mínimos e os máximos da concentração de cortisol plasmático observados na estação quente e amena para os animais ao Sol e à sombra. Observou-se se uma concentração média de cortisol de  $1,29 \pm 0,72$   $\mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação quente, de  $1,19 \pm 0,59$   $\mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais à sombra na mesma estação e de  $1,75 \pm 2,04$   $\mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação amena.

Quadro 6 – Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça *Holstein*.

Condições de ambiente térmico	Nº de amostras	Concentração média de cortisol ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	16	1,29	0,72	0,18	0,40	3,00
Sombra	16	1,19	0,59	0,15	0,10	2,00
Estação amena						
Sol	12	1,75	2,04	0,59	0,63	7,96

Estatisticamente, não se verificaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ), nos níveis de concentração de cortisol plasmático entre as condições de ambiente térmico estudadas

Considerando as horas em que foram efetuadas as recolhas de sangue para a obtenção das amostras para análise do cortisol (Quadro 7), obteve-se, para as 9 horas, uma concentração média de  $1,28 \pm 0,88 \mu\text{g dl}^{-1}$  nos animais ao Sol na quente,  $1,35 \pm 0,55 \mu\text{g dl}^{-1}$  nos animais à sombra na mesma estação, e  $0,95 \pm 0,32 \mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação amena. Às 15 horas, e seguindo a ordem anterior das condições de ambiente térmico, verificou-se, respetivamente,  $1,45 \pm 0,96 \mu\text{g dl}^{-1}$ ,  $1,13 \pm 0,76 \mu\text{g dl}^{-1}$  e  $2,95 \pm 3,44 \mu\text{g dl}^{-1}$ . Às 18 horas, os animais ao Sol e à sombra na estação quente apresentaram, respetivamente,  $1,13 \pm 0,35 \mu\text{g dl}^{-1}$  e  $1,13 \pm 0,51 \mu\text{g dl}^{-1}$ . Os animais ao Sol na estação amena apresentaram uma média de  $1,33 \pm 0,59 \mu\text{g dl}^{-1}$ .

A análise estatística feita para cada uma das condições de ambiente térmico já referidas, tendo em conta as horas das recolhas, também não registou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) quando comparadas entre si.

Quadro 7 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça *Holstein*.

Tempo (h)	Condições de ambiente térmico	Nº de amostras	Concentração média de cortisol ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
9	Estação quente						
	Sol	4	1,28	0,88	0,44	0,40	2,50
	Sombra	4	1,35	0,55	0,28	0,80	2,00
	Estação amena						
	Sol	4	0,95	0,32	0,16	0,69	1,40
15	Estação quente						
	Sol	6	1,45	0,96	0,39	0,40	3,00
	Sombra	6	1,13	0,76	0,31	0,10	2,00
	Estação amena						
	Sol	4	2,95	3,44	1,72	0,67	7,96
18	Estação quente						
	Sol	6	1,13	0,35	0,14	0,70	1,50
	Sombra	6	1,13	0,51	0,21	0,30	1,70
	Estação amena						
	Sol	4	1,33	0,59	0,30	0,63	2,07

### 3.1.4. Aplicação do modelo Torrid

O balanço térmico efetuado com o modelo na raça *Holstein* para os animais ao sol está reunido no Quadro 8, considerando-se para efeitos de simulação, animais produzindo um calor metabólico de 1038 W (158,71 W m<sup>-2</sup>).

Ao longo da simulação, observou-se um valor constante para as perdas de calor latente por evaporação através da superfície cutânea (83,33 W m<sup>-2</sup>), uma vez que naquelas condições o potencial máximo de sudação foi atingido.

Quadro 8 — Valores da temperatura média do ar (°C), humidade relativa média (%), e valores do cálculo do balanço térmico por hora, na raça *Holstein*.

Tempo (h)	Temperatura média do ar (°C)	Humidade média relativa (%)	Q <sub>M</sub> (W m <sup>-2</sup> )	E <sub>r</sub> (W m <sup>-2</sup> )	HS (W m <sup>-2</sup> )	E <sub>p</sub> (W m <sup>-2</sup> )	R (W m <sup>-2</sup> )	C <sub>cv</sub> (W m <sup>-2</sup> )	R <sub>s</sub> (W m <sup>-2</sup> )	Balanço Térmico (W m <sup>-2</sup> )
11	20,38	91,40	158,71	54,25	0	83,33	125,66	110,43	214,97	9,36x10 <sup>-8</sup>
12	21,50	87,00	158,71	63,66	0	83,33	123,76	107,56	219,60	9,61x10 <sup>-8</sup>
13	22,46	83,00	158,71	70,46	0	83,33	121,44	104,45	220,98	5,67x10 <sup>-8</sup>
14	22,76	80,00	158,71	72,43	0	83,33	120,65	103,47	221,18	4,54x10 <sup>-8</sup>
15	22,64	79,60	158,71	71,55	0	83,33	120,94	103,86	220,98	5,07x10 <sup>-8</sup>
16	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
17	21,96	80,80	158,71	64,24	0	83,33	121,32	104,78	214,97	9,31x10 <sup>-8</sup>
18	21,10	84,00	158,71	53,38	0	83,33	120,94	105,02	203,96	4,46x10 <sup>-8</sup>

Desta forma, verificou-se que para a simulação diária e para todas as horas consideradas, o balanço térmico resultou em valores próximos da nulidade, bem como em nenhuma das horas houve a acumulação de calor no corpo do animal.

Verificou-se para as perdas de calor sensível por radiação e convecção (63 % das perdas totais de calor), valores máximos (125,66 W m<sup>-2</sup> e 110,43 W m<sup>-2</sup>, respetivamente) nas primeiras horas da manhã em que se efetuaram medições, e onde se registou a temperatura média do ar mínima (20,38 °C) e o mínimo de ganhos de calor por radiação solar (214,97 W m<sup>-2</sup>). Isto ocorreu porque nessas horas o gradiente térmico entre o animal e o meio ambiente foi maior do que aquele que se verificou ao longo das restantes horas. Apesar de nas últimas horas da tarde, a temperatura do ar e os ganhos de calor por radiação solar diminuírem, as trocas de calor por via sensível não se aproximaram dos valores máximos obtidos nas observações

iniciais durante a manhã, o que pode ser explicado pelo ganho de calor proveniente das superfícies radiantes da envolvente que se acumulou ao longo do dia.

Observou-se que as perdas de evaporação pela respiração aumentaram há medida que a temperatura média do ar e os ganhos por radiação solar aumentaram, até atingirem o máximo às 14 horas, sensivelmente quando se verificou as 12 horas solares, correspondendo ao ponto onde o Sol atinge a maior altura em relação ao horizonte, e onde a incidência da radiação solar é maior. Assim, registaram-se os seguintes valores máximos de  $72,43 \text{ W m}^{-2}$  para as perdas de calor através da respiração e de  $221,18 \text{ W m}^{-2}$  para o ganho de calor por radiação solar. Também se registou, a temperatura média máxima ( $22,76 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e a humidade relativa média mínima (80 %). Naquelas condições verificou-se a percentagem máxima de perdas de calor latente (41 % das perdas totais de calor).

Ao longo da simulação, foi perceptível que as maiores perdas de calor realizaram-se através da via sensível, apesar de também haver uso da via latente para dissipar o calor. Isto indica que nestas condições ambientais os animais não estariam sob *stress* térmico por calor.

Quadro 9 — Valores da temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores da taxa de respiração estimada e observada, na raça *Holstein*.

Tempo (h)	Temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ )	Humidade relativa média (%)	Taxa de respiração ( $\text{mr min.}^{-1}$ )	
			Estimada	Observada
11	20,38	91,40	38,86	40,00
12	21,50	87,00	49,07	48,67
13	22,46	83,00	56,92	55,33
14	22,76	80,00	58,67	59,00
15	22,64	79,60	57,34	55,00
16	---	---	---	---
17	21,96	80,80	48,99	48,44
18	21,10	84,00	37,84	38,34

Em relação à taxa de respiração pelos animais ao Sol, o modelo conseguiu estimar, de forma muito aproximada, os valores médios observados (Quadro 9). Observou-se que as perdas de calor por evaporação no trato respiratório acompanharam a variação da temperatura média do ar e dos ganhos de calor por radiação solar ao longo do dia, ou seja, aumentaram até as 14 horas, tendo posteriormente diminuído. O mesmo ocorreu com as

taxas de respiração (estimada e observada), pois estas estão relacionadas com a variação das perdas de calor de evaporação através da respiração (Figuras 10a e 10b).

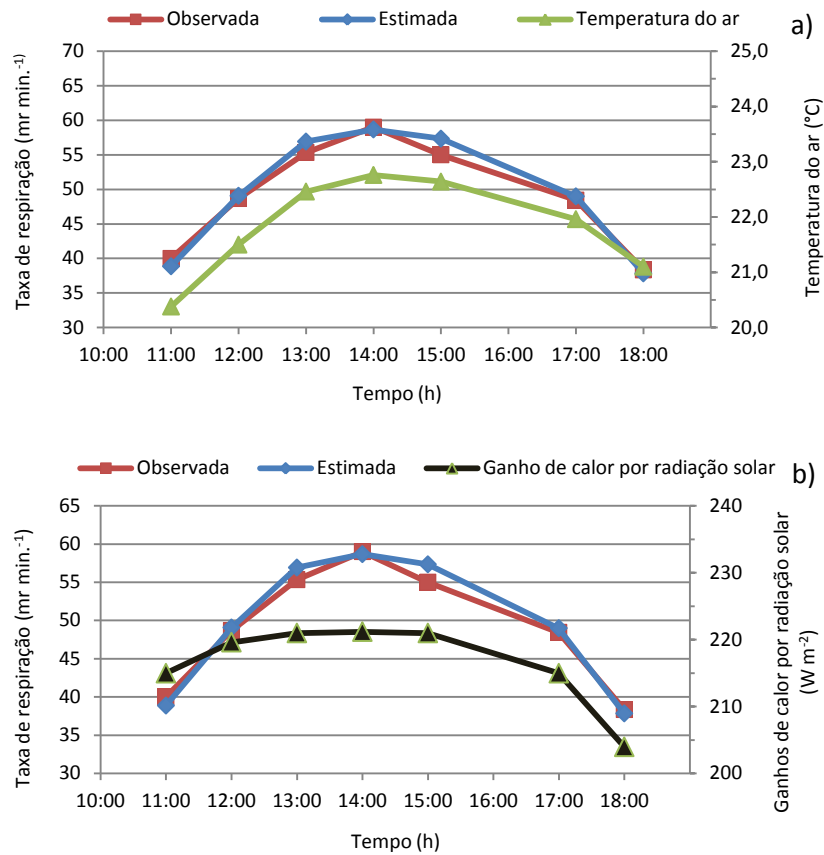


Figura 10 — Representação gráfica da relação entre os da taxa de respiração (valores médios observados nos animais ao sol na estação quente e estimados pelo modelo) e a temperatura média do ar (°C) e os ganhos de calor por radiação solar ( $W m^{-2}$ ), ao longo do dia, para a raça *Holstein*.

Nos animais à sombra, o modelo não apresentou resultados consistentes com os valores observados, o que pode ser explicado por alguns dos parâmetros climáticos utilizados na simulação terem sido medidos fora da zona de sombreamento, e por desajustamento de parâmetros relacionados com características dos animais. Assim, não foi possível comparar o balanço térmico e a taxa de respiração dos animais ao Sol com os animais à sombra.

### 3.2. Raça *Aberdeen-Angus*

Nos trabalhos experimentais com a raça *Aberdeen-Angus*, efetuou-se o mesmo tratamento de dados realizados para a raça *Holstein*.

O valor médio obtido para a temperatura média do ar foi de  $24,65 \pm 1,65$  °C, uma temperatura média do globo negro de  $30,07 \pm 5$  °C ao Sol e de  $25,87 \pm 3,65$  °C à sombra, e uma humidade relativa média de  $69,85 \pm 9,29$  %, na estação quente. Na estação amena, verificou-se uma temperatura média do ar de  $17,84 \pm 1,16$  °C, uma temperatura média do globo negro de  $23,85 \pm 4,05$  °C ao Sol, e uma humidade relativa média de  $69,66 \pm 5,84$  %. Estes valores médios foram obtidos com base em valores registados entre as 9 e as 18 horas nos dias em que decorreu a atividade experimental.

Na estação quente, o THI médio foi de  $72,84 \pm 1,64$  e o BGHI médio de  $78,81 \pm 4,85$  ao Sol e  $74,03 \pm 3,52$  à sombra. Na estação amena, verificou-se um THI médio de  $63,72 \pm 1,11$  e um BGHI médio ao sol de  $69,76 \pm 3,59$ . De acordo com classificação de Armstrong (1994), 73,52 % dos THI registados entre as 9 e as 18 horas encontraram-se no nível de *stress* ameno, durante o período experimental na estação quente.

### 3.2.1. Taxa de respiração

Na raça *Aberdeen-Angus*, a taxa de respiração e a temperatura do ar registaram uma correlação positiva forte ( $r = 0,85$ ) para os animais ao Sol na estação quente e amena, onde se verificou um aumento aproximado de  $2,21$   $\text{mr min.}^{-1}$  por cada grau centígrado da temperatura do ar (Figura 11a).

Nos animais à sombra (Figura 11b) verificou-se uma correlação fraca negativa ( $r = 0,23$ ), pois tal como referido para a raça *Holstein*, a temperatura do ar nas zonas sombreadas é normalmente inferior à temperatura do ar nas zonas com exposição direta ao sol, pelo que os animais à sombra não apresentaram uma correlação com a temperatura do ar.

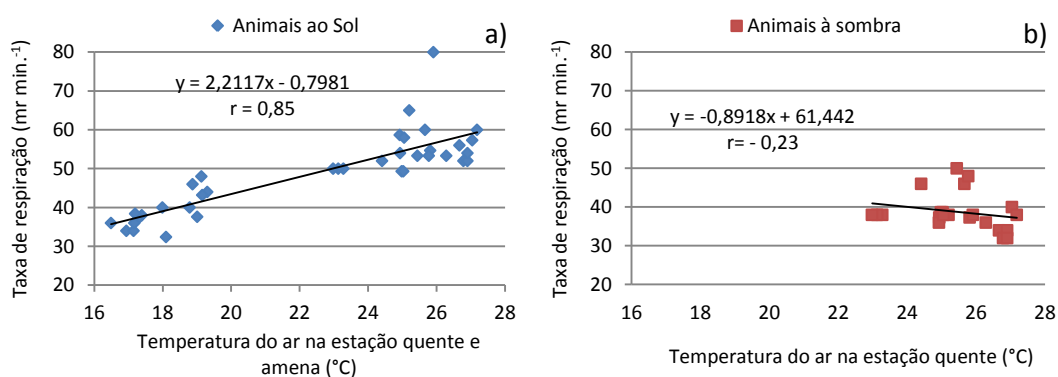


Figura 11 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar (°C), no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

Os resultados da comparação entre o THI e a taxa de respiração foram semelhantes aos obtidos entre a taxa de respiração e a temperatura do ar para os animais ao Sol, ou seja, uma correlação positiva forte ( $r = 0,86$ ). Contudo, por cada aumento de uma unidade de THI apenas se observou um aumento de cerca de  $1,76 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 12a). Para os animais à sombra na estação quente (Figura 12b), verificou-se uma correlação negativa fraca ( $r = 0,057$ ) entre a taxa de respiração e a temperatura do ar.

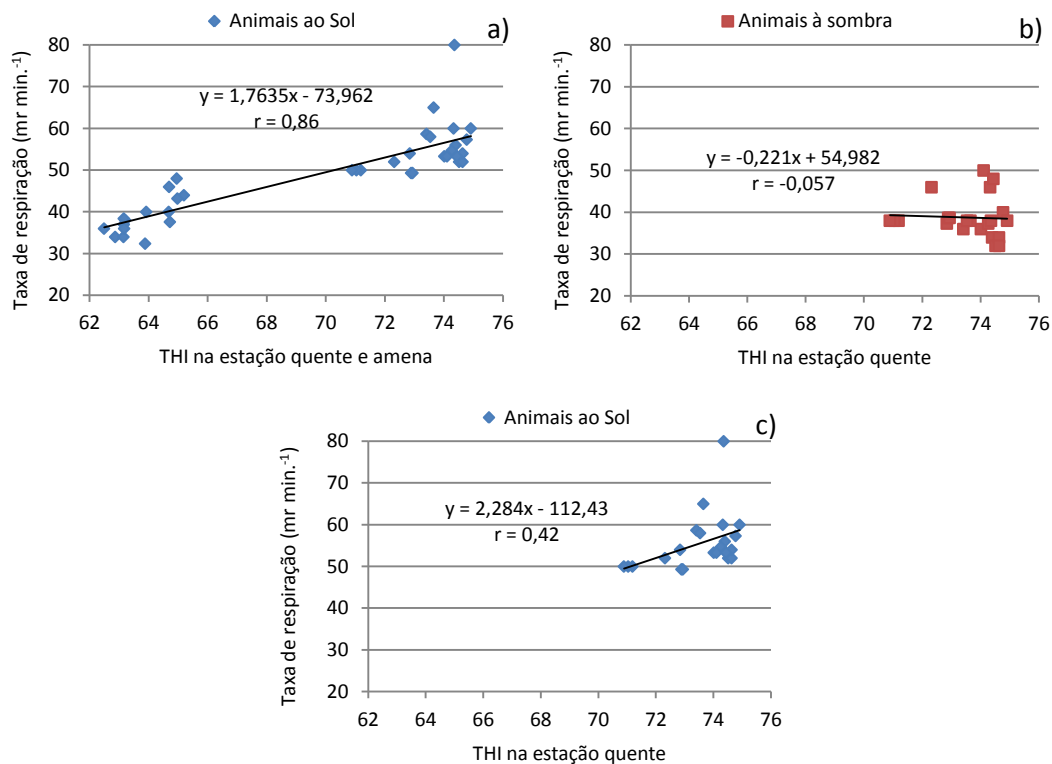


Figura 12 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e a THI, no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

Na análise da relação entre o THI e a taxa de respiração dos animais ao Sol na estação quente, verificou-se um aumento da taxa de respiração superior, ou seja, de cerca de  $2,3 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 12c) por unidade de THI, apesar da correlação apresentar um valor inferior ( $r = 0,42$ ) à observada nos animais aos Sol na estação quente e amena.

Quanto à relação entre a taxa de respiração e a temperatura do globo negro, para os animais ao Sol na estação quente e amena, registou-se uma correlação forte ( $r = 0,85$ ), em que um aumento de  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  da temperatura do globo negro desencadeou um aumento de cerca de  $1,65 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 13a). Relativamente aos animais à sombra verificou-se uma correlação

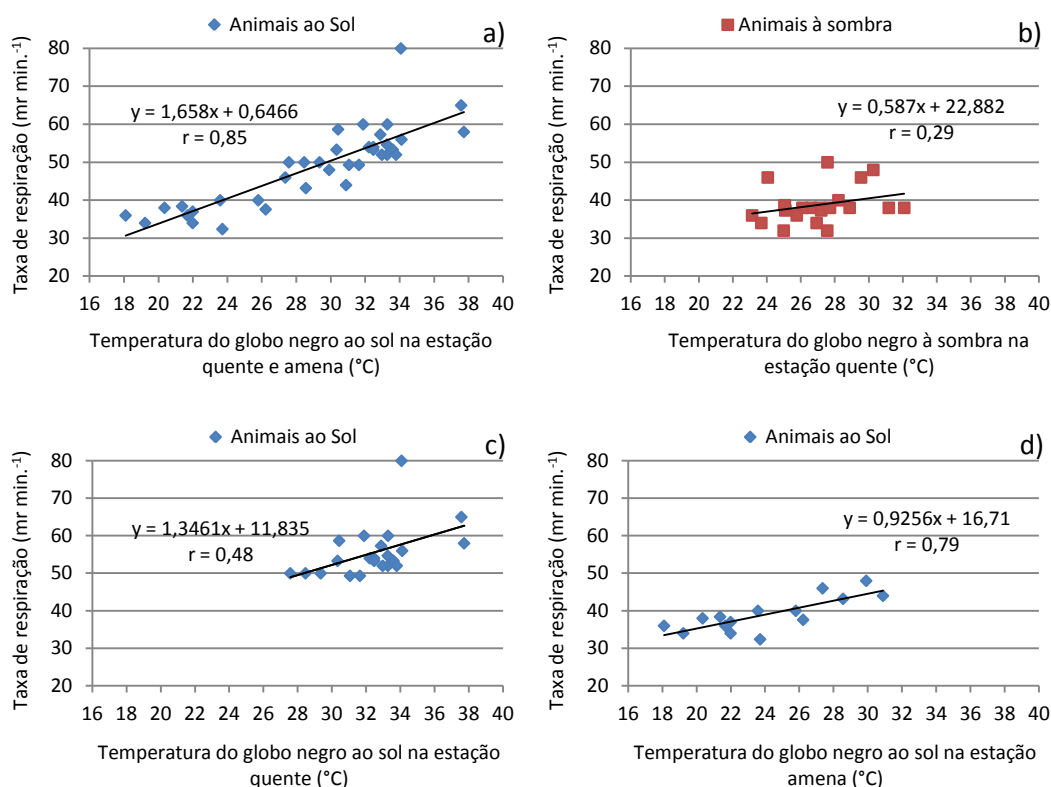


Figura 13 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol), na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

positiva fraca ( $r = 0,29$ ) onde o aumento da taxa de respiração foi de  $0,587 \text{ mr min.}^{-1}$  por cada  $1^{\circ}\text{C}$  de aumento de temperatura do globo negro (Figura 13b).

Ao analisar-se separadamente os dados da taxa de respiração para a estação quente e a amena, verificou-se na estação quente uma correlação positiva fraca ( $r = 0,48$ ). Contudo, por cada grau centígrado de aumento da temperatura do globo negro verificou-se um aumento de  $1,34 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 13c). Para a estação amena a correlação foi superior à da estação quente, sendo uma correlação positiva forte ( $r = 0,79$ ). Contudo, o aumento da taxa de respiração por cada grau centígrado foi inferior,  $0,93 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 13d).

Na relação entre a taxa de respiração e o BGHI verificou-se uma situação semelhante à que ocorreu com a temperatura do globo negro e o BGHI, ou seja, para os animais ao Sol na estação quente e amena registou-se uma correlação positiva forte ( $r = 0,87$ ), onde o aumento de uma unidade de BGHI originou um incremento de  $1,45 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 14a). À sombra, a correlação obtida foi positiva fraca ( $r = 0,35$ ), em que por cada uma unidade de BGHI, houve um aumento de  $0,64 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 14b).

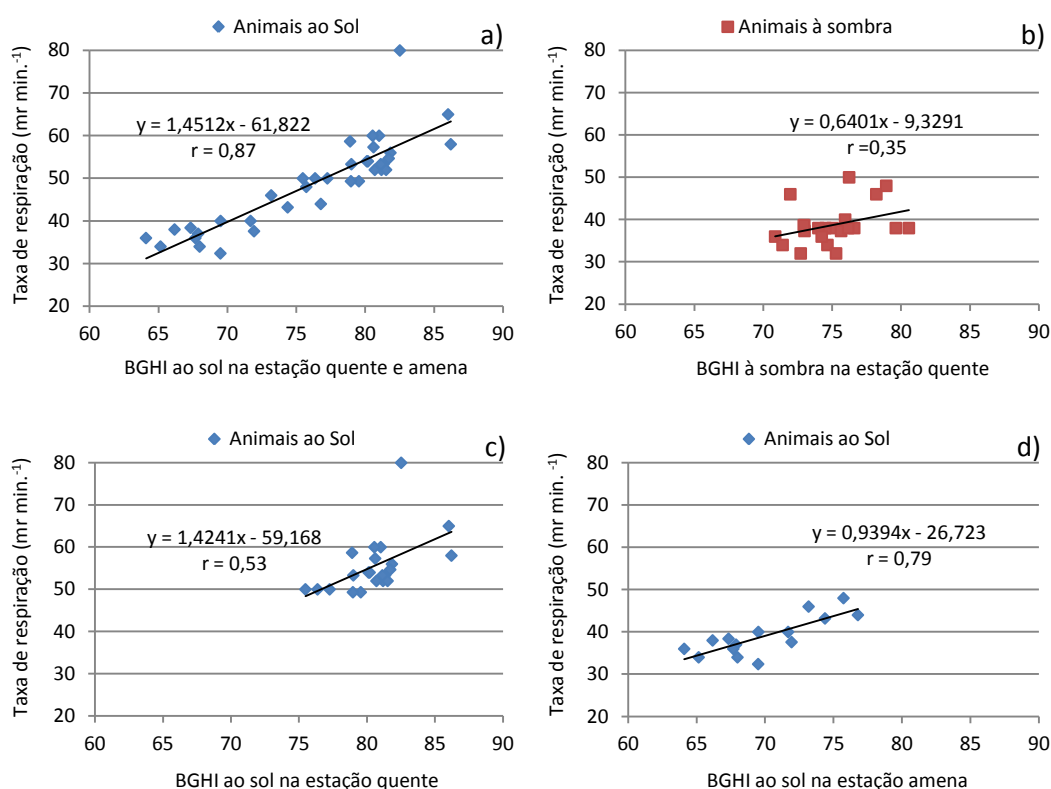


Figura 14 – Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) na estação quente (à sombra e ao Sol) e na estação amena (ao Sol), e o BGHI, no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

Na análise entre a taxa de respiração e o BGHI para os animais ao Sol na estação quente, verificou-se, tal como entre a taxa de respiração e a temperatura do globo negro, uma descida da correlação em comparação com análise dos animais ao Sol em ambas as estações. Contudo, apesar de ser inferior, esta continua a ser uma correlação forte ( $r = 0,53$ ). Assim, observou-se que o aumento de uma unidade de BGHI desencadeou um aumento de  $1,42 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 14c). Na estação amena a situação é praticamente igual à da temperatura do globo negro, com um valor de  $r$  de  $0,79$ , onde um aumento de uma unidade de BGHI provocou um aumento aproximado de  $0,94 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 14d).

Comparando os valores médios observados da taxa de respiração, nas diferentes condições de ambiente térmico, registou-se  $55,23 \pm 7,72 \text{ mr min.}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação quente,  $39,53 \pm 6,68 \text{ mr min.}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação amena, e  $38,53 \pm 6,39 \text{ mr min.}^{-1}$  para os animais à sombra na estação quente (Quadro 10).

Observou-se para os animais ao Sol e à sombra na estação quente, a existência de diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ) para as taxas de respiração, bem como entre os animais ao sol na estação quente e amena. Entre os animais à sombra na estação quente e os

Quadro 10 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da taxa de respiração observada ( $\text{ml min}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça *Aberdeen-Angus*.

Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Taxa de respiração média ( $\text{ml min}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	44	55,23	7,72	1,16	46,00	88,00
Sombra	44	38,55	6,39	0,96	32,00	60,00
Estação amena						
Sol	60	39,53	6,68	0,86	26,00	60,00

animais ao Sol na estação amena não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). Assim, pode-se afirmar que o sombreamento teve uma ação positiva sobre o conforto térmico animal, uma vez que a taxa de respiração média dos animais à sombra foi inferior à observada nos animais ao Sol, na estação quente. O sombreamento na estação quente proporcionou respostas fisiológicas de termorregulação semelhantes às observadas na estação amena. Deste modo, o efeito da sombra na estação quente pode ser comparado a uma alteração das condições climáticas semelhante àquela que ocorreria se os animais fossem temporalmente transportadas da estação quente para a estação amena.

### 3.2.2. Temperatura retal

A relação entre a temperatura retal e a temperatura do ar para os animais ao Sol na estação quente e amena (Figura 15a) obteve uma correlação negativa fraca ( $r = -0,074$ ) quase nula. Para os animais à sombra (Figura 15b), verificou-se um cenário semelhante, uma correlação negativa fraca ( $r = -0,23$ ), mas mais afastada do valor nulo. Este resultado é

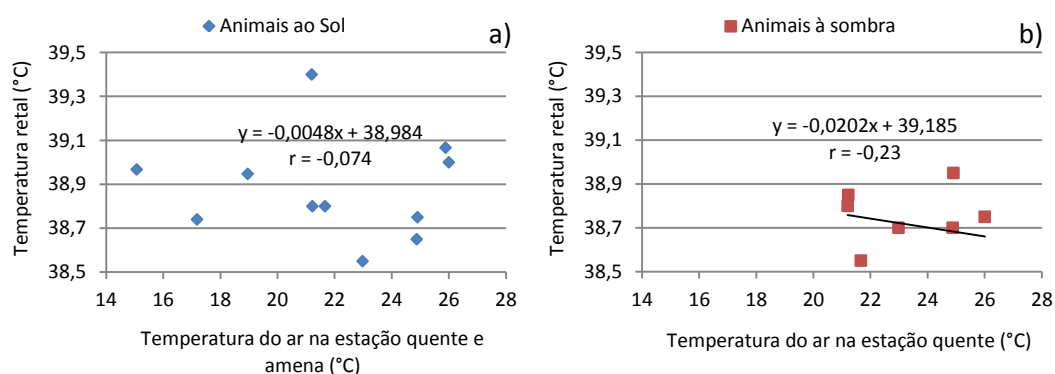


Figura 15 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e estação quente (à sombra), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

espectável, pois, como já foi referido, a temperatura do ar não foi registada na zona de sombreamento

Para o índice THI e a temperatura retal, a situação é semelhante à da temperatura do ar, em que os animais ao Sol na estação quente e amena (Figura 16a) apresentam também uma correlação fraca ( $r = -0,052$ ) próxima do nulo. Os animais à sombra (Figura 16b) também

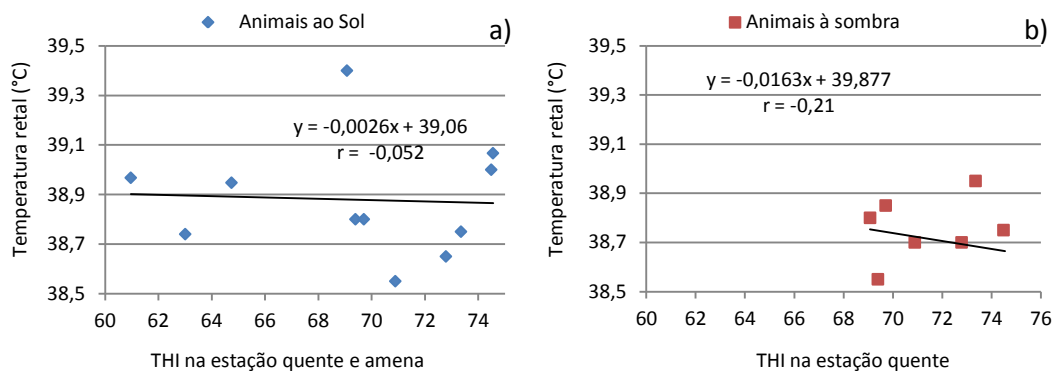


Figura 17 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o THI, no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

apresentaram uma correlação negativa fraca ( $r = -0,21$ ), sendo esta situação semelhante à relação entre a temperatura do ar e a temperatura retal, porque o THI foi calculado a partir da temperatura do ar registada fora da zona de sombreamento.

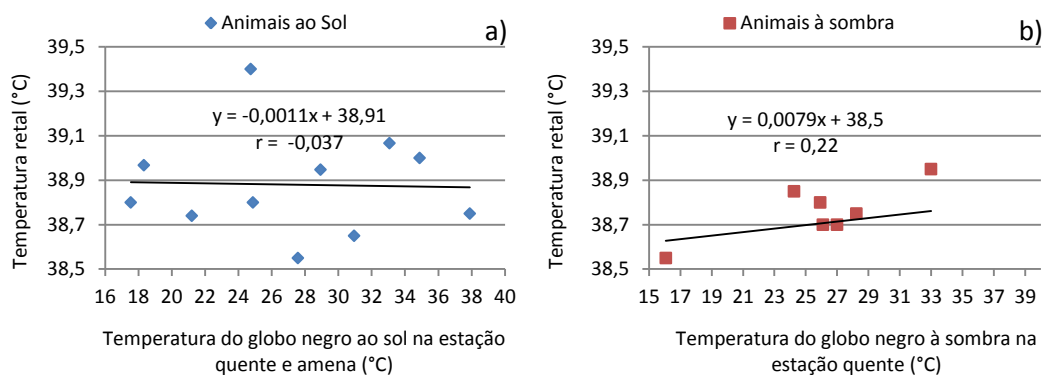


Figura 16 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do globo negro (°C), no período experimental para a raça *Aberdeen-Angus*.

A relação entre a temperatura retal e a temperatura do globo negro, para os animais ao Sol na estação quente e amena, registou o mesmo cenário das relações anteriormente discutidas (Figura 17a), ou seja, uma correlação negativa fraca ( $r = -0,037$ ) quase nula. Os

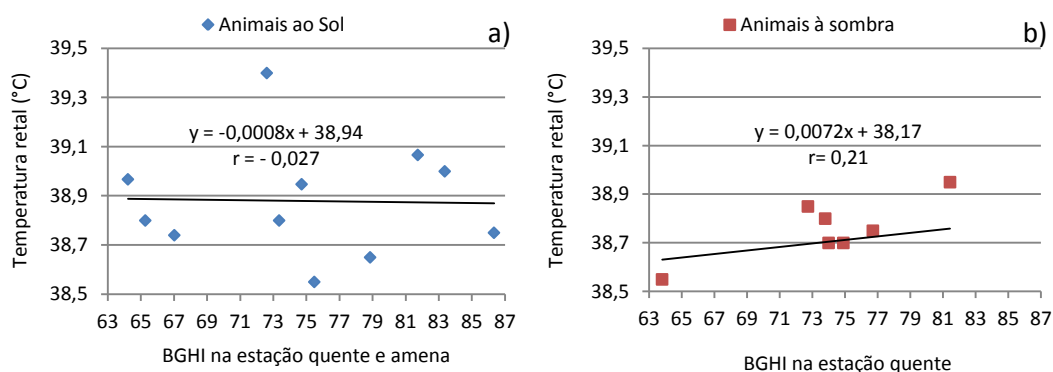


Figura 18 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o BGHI (°C), no período experimental, para a raça *Aberdeen-Angus*.

animais à sombra, na estação quente, apresentaram uma correlação positiva fraca ( $r = 0,22$ ), onde por cada grau centígrado de aumento da temperatura do globo negro verificou-se um incremento impercetível ( $0,0079\text{ °C}$ ) na temperatura retal (Figura 17b).

A relação do BGHI com a temperatura retal é semelhante à obtida com a temperatura do globo negro, onde mais uma vez, os animais ao Sol na estação quente e amena (Figura 18a) apresentaram uma correlação negativa fraca ( $r = -0,027$ ) próximo do nulo. Nos animais à sombra (Figura 18b), a correlação foi positiva fraca ( $r = 0,22$ ), em que cada unidade de BGHI adicionada resultou num aumento impercetível de  $0,0072\text{ °C}$  na temperatura retal.

Quadro 11 — Média, desvio padrão, erros padrão, mínimo e máximo da temperatura retal (°C) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol), para a raça *Aberdeen-Angus*.

Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Temperatura retal média (°C)	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	16	38,87	0,34	0,085	38,50	39,60
Sombra	16	38,69	0,22	0,056	38,30	39,10
Estação amena						
Sol	12	38,80	0,32	0,092	38,23	39,27

Observou-se uma temperatura retal média de  $38,87 \pm 0,34\text{ °C}$  para os animais ao Sol na estação quente, de  $38,09 \pm 0,22\text{ °C}$  para os animais à sombra, na mesma estação, e de  $38,80 \pm 0,32\text{ °C}$  para os animais ao Sol na estação amena (Quadro 11). Não se obtiveram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as temperaturas retais das diferentes condições de ambiente térmico em estudo.

Quadro 12 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal (°C) na estação quente (Sol e ao à sombra), e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça *Aberdeen-Angus*.

Tempo (h)	Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Temperatura retal média (°C)	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
9	Estação quente Sol	6	38,95	0,41	0,17	38,50	39,60
	Sombra	6	38,68	0,22	0,091	38,50	39,00
	Estação amena Sol	4	38,72	0,11	0,057	38,60	38,87
15	Estação quente Sol	6	38,94	0,34	0,14	38,60	39,50
	Sombra	6	38,61	0,20	0,082	38,30	38,80
	Estação amena Sol	4	38,94	0,34	0,17	38,50	39,27
18	Estação quente Sol	4	38,65	0,13	0,06	38,50	38,80
	Sombra	4	38,83	0,25	0,13	38,50	39,10
	Estação amena Sol	4	38,74	0,46	0,23	38,23	39,27

Quando se considerou a hora em que foi efetuada a medição da temperatura retal, verificou-se as seguintes médias e desvios padrões que se encontram reunidas no Quadro 12. Na comparação entre as diferentes condições de ambiente térmico, tendo em conta a hora em que foi efetuada as medições da temperatura retal recolhidas não se verificaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ).

### 3.2.3. Concentração de cortisol plasmático

Registaram-se as seguintes médias,  $1,87 \pm 1,05 \mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao sol na estação quente,  $1,64 \pm 0,68 \mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais à sombra na mesma estação, e  $2,49 \pm 1,47 \mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação amena (Quadro 13). Não se verificaram diferenças estatísticas entre as condições de ambiente térmico em estudo ( $p > 0,05$ ).

Ao considerar-se as horas em que foram efetuadas as recolhas de sangue para obtenção das amostras para análise da concentração de cortisol plasmático (Quadro 14), observou-se, às 9 horas, uma média de  $2,22 \pm 1,35 \mu\text{g dl}^{-1}$  nos animais ao Sol na quente, de  $1,83 \pm 0,39 \mu\text{g dl}^{-1}$  nos animais à sombra na mesma estação, e de  $3,38 \pm 2,38 \mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na

Quadro 14 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça *Aberdeen-Angus*.

Condições de ambiente térmico	Nº de amostras	Concentração média de cortisol ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	14	1,87	1,05	0,28	0,40	4,50
Sombra	13	1,64	0,68	0,19	0,50	2,60
Estação amena						
Sol	12	2,49	1,47	0,43	1,19	6,60

estação amena. Às 15 horas, e seguindo a ordem anterior das condições de ambiente térmico, verificou-se as seguintes concentrações médias,  $1,65 \pm 0,55 \mu\text{g dl}^{-1}$ ,  $1,63 \pm 0,80 \mu\text{g dl}^{-1}$  e  $2,01 \pm 0,64 \mu\text{g dl}^{-1}$ . Às 18 horas, os animais ao Sol e à sombra na estação quente apresentaram as seguintes médias, respetivamente,  $1,50 \pm 1,56 \mu\text{g dl}^{-1}$  e  $5 \mu\text{g dl}^{-1}$ . Os animais ao Sol na estação amena apresentaram uma média de  $2,07 \pm 0,49 \mu\text{g dl}^{-1}$ .

Ao comparar as concentrações de cortisol em cada hora, nas várias condições de ambiente térmico em estudo, não se obtiveram diferenças estatísticas significativas ( $p > 0,05$ ).

Quadro 13 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra), e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça *Aberdeen-Angus*.

Tempo (h)	Condições de ambiente térmico	Nº de amostras	Concentração média de cortisol ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
9	Estação quente						
	Sol	6	2,22	1,35	0,55	0,80	4,50
	Sombra	6	1,83	0,39	0,16	1,20	2,40
	Estação amena						
	Sol	4	3,38	2,38	1,19	1,19	6,60
15	Estação quente						
	Sol	6	1,65	0,55	0,22	1,00	2,50
	Sombra	6	1,63	0,80	0,33	0,90	2,60
	Estação amena						
	Sol	4	2,01	0,64	0,32	1,25	2,69
18	Estação quente						
	Sol	2	1,50	1,56	1,10	0,40	2,60
	Sombra	1	5,00	----	----	----	----
	Estação amena						
	Sol	4	2,07	0,49	0,24	1,53	2,48

### 3.2.4. Aplicação do modelo Torrid

No Quadro 15 encontram-se reunidos os resultados do cálculo do balanço térmico para os animais ao Sol da raça *Aberdeen-Angus*. A simulação foi realizada considerando-se uma produção de calor metabólico de 633 W (135,42 W m<sup>-2</sup>).

Quadro 15 — Valores da temperatura média do ar (°C), humidade relativa média (%), e valores do cálculo do balanço térmico por hora, na raça *Aberdeen-Angus*.

Tempo (h)	Temperatura média do ar (°C)	Humidade média relativa (%)	H <sub>M</sub> (W m <sup>-2</sup> )	E <sub>r</sub> (W m <sup>-2</sup> )	HS (W m <sup>-2</sup> )	E <sub>p</sub> (W m <sup>-2</sup> )	R (W m <sup>-2</sup> )	C <sub>cv</sub> (W m <sup>-2</sup> )	R <sub>s</sub> (W m <sup>-2</sup> )	Balanço Térmico (W m <sup>-2</sup> )
12	24,93	68,50	135,42	96,35	0	59,03	122,38	81,38	223,71	1,12x10 <sup>-7</sup>
13	25,40	66,46	135,42	99,84	0	59,03	121,36	80,34	225,15	9,94x10 <sup>-8</sup>
14	25,61	65,55	135,42	101,36	0	59,03	120,78	79,86	225,71	9,73x10 <sup>-8</sup>
15	25,99	64,05	135,42	103,49	0	59,03	119,58	78,72	225,49	9,57x10 <sup>-8</sup>
16	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17	25,15	67,36	135,42	94,98	0	59,03	120,24	79,59	218,42	1,21x10 <sup>-7</sup>
18	24,72	69,11	135,42	85,77	0	59,03	117,89	77,94	205,17	2,49x10 <sup>-9</sup>

Observou-se, ao longo da simulação, um valor constante (59,03 W m<sup>-2</sup>) para as perdas de calor por evaporação através da superfície cutânea. Isto deveu-se ao facto de naquelas condições ambientais, o modelo prever que o potencial máximo de sudação foi atingido.

A simulação efetuada com o modelo mostrou que o balanço entre os ganhos e perdas de calor foi considerado nulo, o que mostra que as respostas fisiológicas de dissipação de calor foram eficientes, e deste modo não se verificou a acumulação de calor interno no animal, o que é consistente com as medições efetuadas à temperatura retal dos animais.

Observou-se que as perdas de calor por evaporação através da respiração aumentaram, à medida que a temperatura média do ar e os ganhos por radiação solar aumentaram. Às 15 horas, quando a temperatura média do ar atingiu o seu máximo (25,99 °C), e se verificou um valor de 225,49 W m<sup>-2</sup> para os ganhos de calor por radiação solar, as perdas de calor por evaporação no trato respiratório registaram o seu valor mais alto (103,49 W m<sup>-2</sup>). Assim, verificou-se, para as perdas de calor latente, uma percentagem de 45 % das perdas totais de calor.

Os mecanismos de dissipação de calor por via sensível apresentaram valores máximos às 12 horas ( $122,38 \text{ W m}^{-2}$  para a radiação e  $81,38 \text{ W m}^{-2}$  para a convecção), tendo decrescido posteriormente, com exceção das 17 horas onde ocorreu uma subida muito ligeira. O facto de as maiores perdas de calor sensível terem ocorrido nas primeiras horas das medições (56,74 % das perdas totais de calor), pode dever-se a um maior gradiente térmico entre o animal e o ambiente. Nas últimas horas da tarde, não se verifica o aumento do fluxo de calor perdido pelos processos de radiação e convecção, apesar da descida dos ganhos de calor por radiação solar, pois o calor libertado através das superfícies radiantes que se acumulou ao longo do dia pode ter diminuído o gradiente térmico.

Também, nesta raça, foi perceptível que o balanço térmico foi assegurado em grande medida pelos processos de dissipação de calor por via sensível. Contudo, também se observou o recurso aos processos de dissipação de calor por via latente, sobretudo quando ocorreu um aumento da temperatura do ar ou dos ganhos de calor por radiação solar. Uma vez que o parâmetro climático da radiação solar apresenta uma particular importância em animais com pelagem totalmente preta, a qual apresenta um maior índice de absorção de energia radiante.

Quadro 16 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores da taxa de respiração estimada e observada, na raça *Aberdeen-Angus*.

Tempo (h)	Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Humidade relativa média (%)	Taxa de respiração ( $\text{ml min.}^{-1}$ )	
			Estimada	Observada
12	24,93	68,50	56,43	54,86
13	25,40	66,46	59,36	48,00
14	25,61	65,55	60,65	57,14
15	25,99	64,05	62,59	64,00
16	----	----	----	----
17	25,15	67,36	55,58	60,00
18	24,72	69,11	48,64	50,00

Em relação aos valores da simulação do modelo para a taxa de respiração dos animais ao Sol, estes ficaram próximos daqueles observados nos animais (Quadro 16). Registou-se que as taxas de respiração estimadas e observadas aumentaram à medida que a temperatura do ar e os ganhos de calor por radiação solar se elevaram (Figuras 19a e 19b), o que implicou o aumento das perdas de calor por evaporação através da respiração.

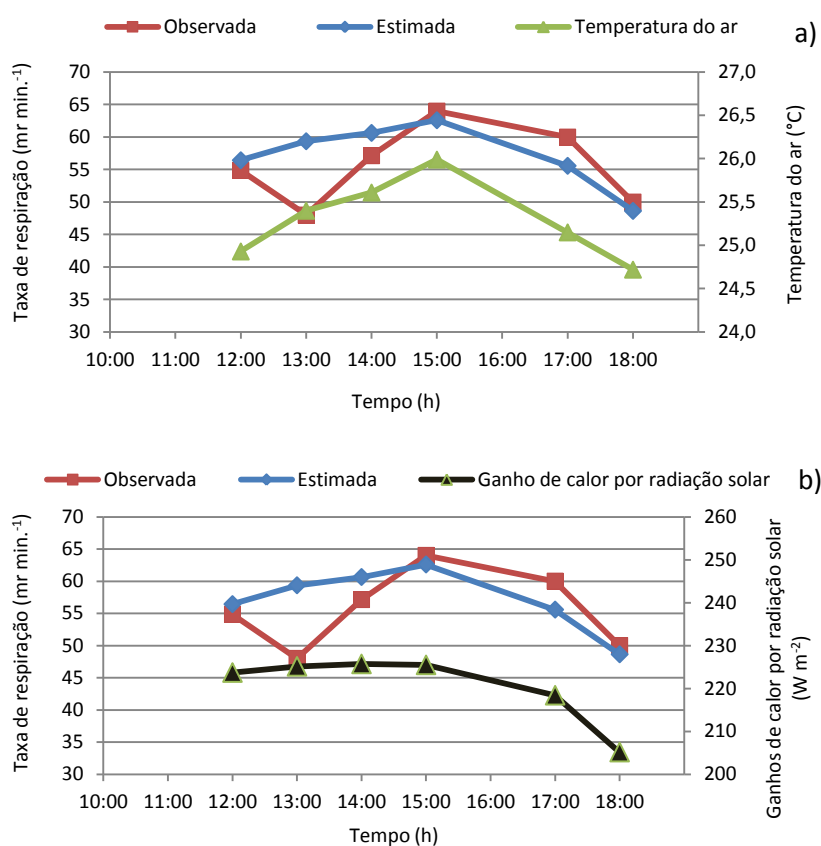


Figura 19 — Representação gráfica da relação entre a taxa de respiração (valores médios observados nos animais ao sol na estação quente e estimados pelo modelo) e a temperatura média do ar (°C) e os ganhos de calor por radiação solar ( $W m^{-2}$ ), ao longo do dia, para a raça *Aberdeen-Angus*.

Em relação aos animais à sombra da raça *Aberdeen-Angus*, os resultados estimados pelo modelo não se apresentaram consistentes com os valores observados, podendo dever-se às mesmas razões apresentadas para os animais da raça *Holstein*. Assim não foi possível efetuar a comparação entre os balanços térmicos e as taxas de respiração dos animais ao Sol e à sombra.

### 3.3. Raça *Limousine*

Na raça *Limousine*, efetuou-se o mesmo tratamento de dados que se realizou para as 2 raças anteriores. Na estação quente, registou-se uma temperatura média do ar de  $20,34 \pm 0,92$  °C, uma temperatura média do globo negro de  $32,98 \pm 4,65$  °C ao Sol e de  $23,89 \pm 1,17$  °C à sombra, e uma humidade relativa média de  $69,99 \pm 6,63$  %. Na estação amena, verificou-se uma temperatura média do ar de  $15,40 \pm 0,29$  °C, uma temperatura média do globo negro de  $22,24 \pm 4,05$  °C ao Sol, e uma humidade relativa média de  $69,74 \pm 3,13$  %. Estes valores médios

foram obtidos com base em valores recolhidos entre as 9 e as 18 horas dos dias em que decorreu a atividade experimental.

Na estação quente, verificou-se um THI médio de  $67,37 \pm 0,89$ , um BGHI médio de  $67,29 \pm 3,05$  ao Sol e de  $79,74 \pm 4,52$  à sombra. Na estação amena, verificou-se um THI médio de  $60,45 \pm 0,64$  e um BGHI médio de  $67,29 \pm 3,05$ . Na estação quente, não foram registados valores de  $\text{THI} \geq 72$  durante o período experimental com a raça *Limousine*. Assim, não se verificou qualquer situação de *stress* térmico por calor segundo a classificação de Armstrong (1994).

### 3.3.1. Taxa de respiração

Na análise dos dados da estação quente e amena, para os animais ao Sol, obteve-se uma correlação positiva fraca ( $r = 0,33$ ) entre a taxa de respiração e a temperatura do ar, em que uma subida de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  na temperatura do ar desencadeou um aumento aproximado de  $2,26\text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 20a). Nos animais à sombra (Figura 20b), na estação quente, verificou-se uma correlação negativa forte ( $r = -0,56$ ). Por um lado, isto pode-se dever ao facto da temperatura do ar ter sido registada fora da zona de sombreamento. Por outro lado, devido à reduzida flutuação da temperatura do ar ( $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) registada durante este período experimental, a variação na taxa de respiração observada pode ser em grande medida resultado da atividade física e de características individuais dos animais, não expressando uma resposta termorreguladora.

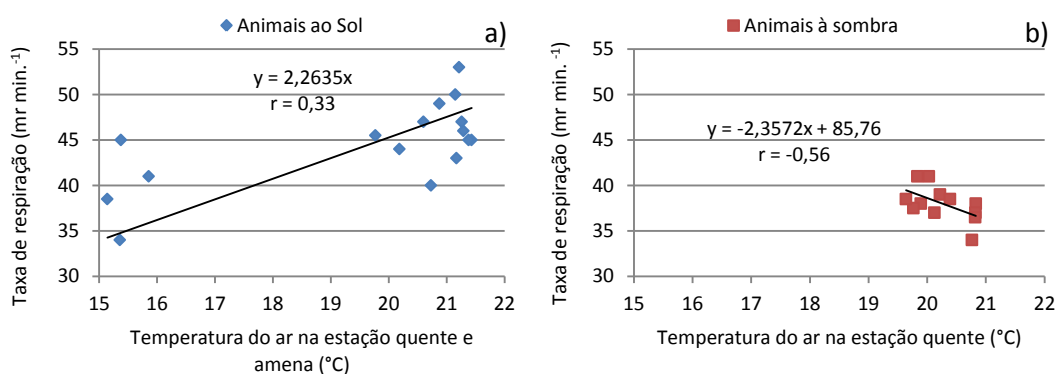


Figura 20 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Limousine*.

Nos animais ao Sol na estação quente e amena, verificou-se que a correlação entre o THI e a taxa de respiração aumentou em relação à da temperatura do ar, tendo-se obtido uma

correlação forte ( $r = 0,66$ ). Contudo, apenas se verificou um acréscimo aproximado de  $0,94 \text{ mr min.}^{-1}$  por cada unidade de THI (Figura 21a). Para os animais à sombra (Figura 21a) verificou-se uma situação idêntica à temperatura do ar, uma correlação negativa forte ( $r = -0,56$ ). Este fenómeno poder ser explicado pelas razões referidas anteriormente, uma vez que o THI é calculado a partir da temperatura do ar.

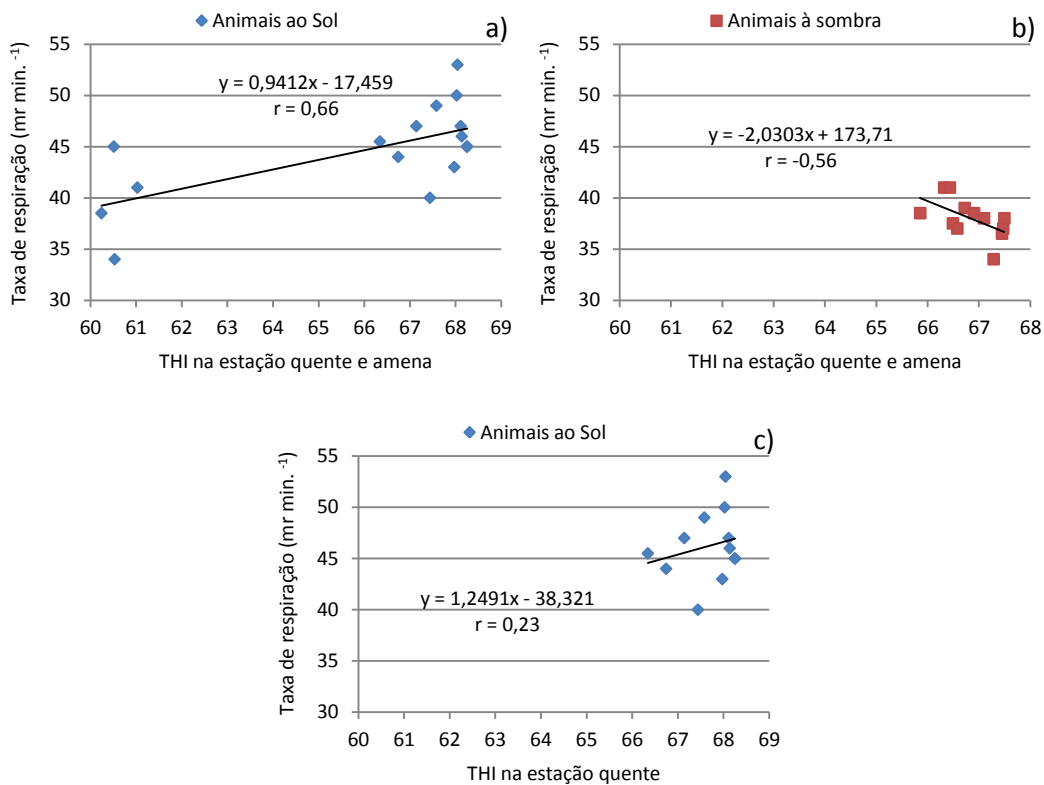


Figura 21 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ) na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra e ao Sol), e o THI, no período experimental para a raça *Limousine*.

Ao analisarmos os dados obtidos ao Sol na estação quente, verificou-se entre o THI e a taxa de respiração uma correlação inferior à dos animais ao Sol na estação quente e amena, uma correlação positiva fraca ( $r = 0,23$ ). O aumento da taxa de respiração por cada unidade de THI foi  $1,24 \text{ mr min.}^{-1}$  (Figura 21c).

Nos animais ao Sol para a estação quente e amena, a correlação foi positiva forte ( $r = 0,63$ ) entre a temperatura do globo negro e a taxa de respiração, onde o incremento foi de  $0,45 \text{ mr min.}^{-1}$  por de  $1^\circ\text{C}$  (Figura 22a). Nos animais à sombra (Figura 22b), a correlação da taxa de respiração com a temperatura do globo negro foi negativa fraca ( $r = -0,0014$ ), podendo-se considerar nula.

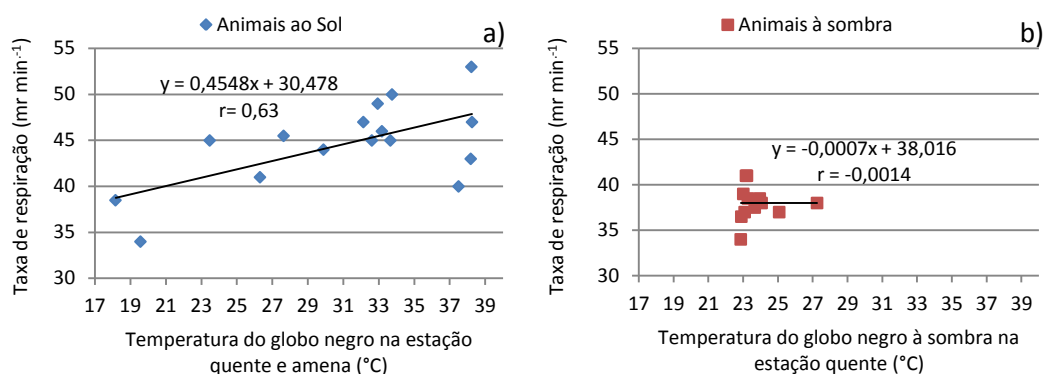


Figura 22 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Limousine*.

A relação entre o BGHI e a taxa de respiração para os animais ao Sol na estação quente e amena foi semelhante à da temperatura do globo negro. Registou-se uma correlação positiva forte ( $r = 0,64$ ), com um aumento de  $0,418 \text{ mr min}^{-1}$  por unidade de BGHI (Figura 23a). Nos animais à sombra (Figura 23b), a correlação foi positiva fraca ( $r = 0,19$ ), onde o aumento dos movimentos respiratórios por minuto foi imperceptível (aproximadamente  $0,14 \text{ mr min}^{-1}$ ).

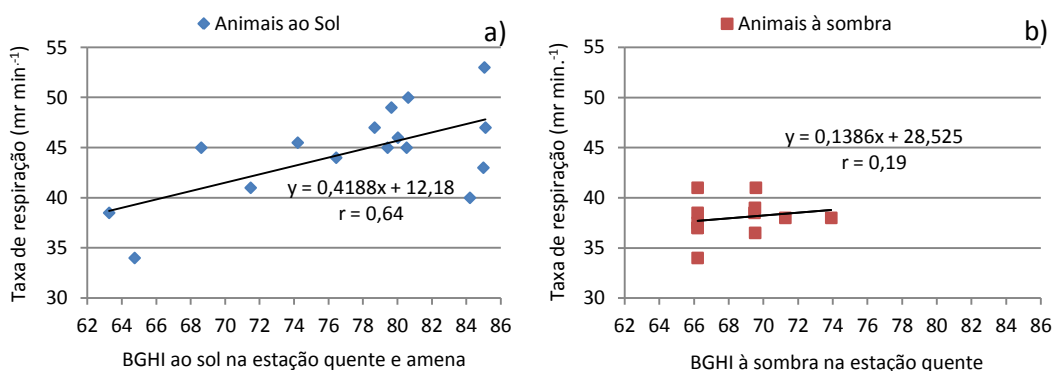


Figura 23 — Representação gráfica da relação dos valores médios da taxa de respiração observada ( $\text{mr min}^{-1}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o BGHI, no período experimental para a raça *Limousine*.

Os animais ao Sol na estação quente apresentaram a taxa de respiração média mais elevada,  $46,21 \pm 4,73 \text{ mr min}^{-1}$ , seguindo-se a registada ao Sol na estação amena com  $39,63 \pm 4,75 \text{ mr min}^{-1}$ , e por fim, a registada à sombra na estação quente com  $38,08 \pm 3,76 \text{ mr min}^{-1}$  (Quadro 17).

Quando analisadas as diferenças estatísticas das taxas de respiração entre as condições de ambiente térmico em estudo, verificou-se a existências de diferenças altamente significativas entre os animais ao Sol e à sombra na estação quente ( $p < 0,001$ ), e entre os

Quadro 17 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da taxa de respiração observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para raça *Limousine*.

Condições de Ambiente térmico	Nº de medições	Taxa de respiração média ( $\text{mr min.}^{-1}$ )	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	48	46,21	4,73	0,68	36,00	56,00
Sombra	48	38,08	3,76	0,54	32,00	46,00
Estação amena						
Sol	16	39,63	4,75	1,19	32,00	48,00

animais ao Sol na estação quente e amena ( $p < 0,001$ ). Contudo não se verificaram diferenças entre os animais ao Sol na estação quente e os animais à sombra na estação amena ( $p > 0,05$ ). Assim, pode-se afirmar que o sombreamento teve um efeito positivo sobre o conforto térmico animal. E tal como se verificou na raça *Aberdeen-Angus*, o uso de sombra na estação quente desencadeou respostas fisiológicas de termorregulação semelhantes às observadas na estação amena. Este efeito da sombra na estação quente também pode ser comparado a uma alteração das condições climáticas semelhante àquela que ocorreria se os animais fossem temporalmente transportadas da estação quente para a estação amena.

### 3.3.2. Temperatura retal

Nos animais ao Sol na estação quente e amena verificou-se uma correlação forte ( $r = 0,66$ ), em que uma subida de  $1^\circ\text{C}$  da temperatura do ar proporcionou um aumento de  $0,10^\circ\text{C}$  na temperatura retal (Figura 24a). Para os animais à sombra na estação quente também se

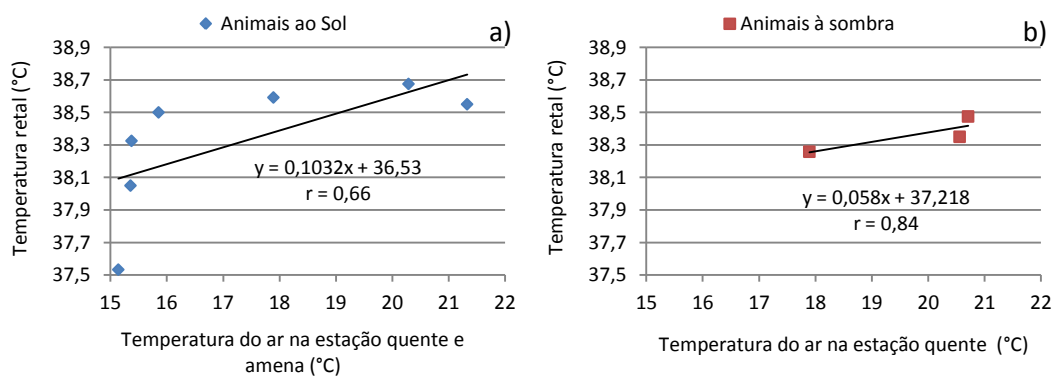


Figura 24 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^\circ\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ), no período experimental para a raça *Limousine*.

registou uma correlação forte ( $r = 0,86$ ), ligeiramente superior à dos animais ao Sol. Contudo, a variação que se verificou na temperatura retal dos animais à sombra foi inferior à dos animais ao Sol. O esperado era não ocorrer uma correlação porque a temperatura do ar foi registada fora da zona de sombreamento. Assim, não se pode atribuir à temperatura do ar as flutuações que ocorreram na temperatura retal dos animais à sombra (Figura 24b).

Na relação entre a temperatura retal e o THI observou-se uma correlação positiva forte ( $r = 0,68$ ), semelhante à da temperatura do ar, onde a subida de uma unidade de THI desencadeou um aumento aproximado de  $0,080\text{ }^{\circ}\text{C}$  na temperatura retal dos animais ao Sol na estação quente e amena (Figura 25a). Para os animais à sombra na estação quente verificou-se uma correlação positiva forte ( $r = 0,84$ ) e superior à dos animais ao Sol. Contudo, por cada unidade de THI, a subida na temperatura retal dos animais à sombra foi semelhante à dos animais ao Sol, aproximadamente de  $0,079\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 25b). Dado que o THI é calculado a partir da temperatura do ar, é esperado não ocorrer correlação entre este a temperatura retal dos animais à sombra. Assim, os resultados obtidos não podem ser atribuídos à relação entre o THI e a temperatura retal.

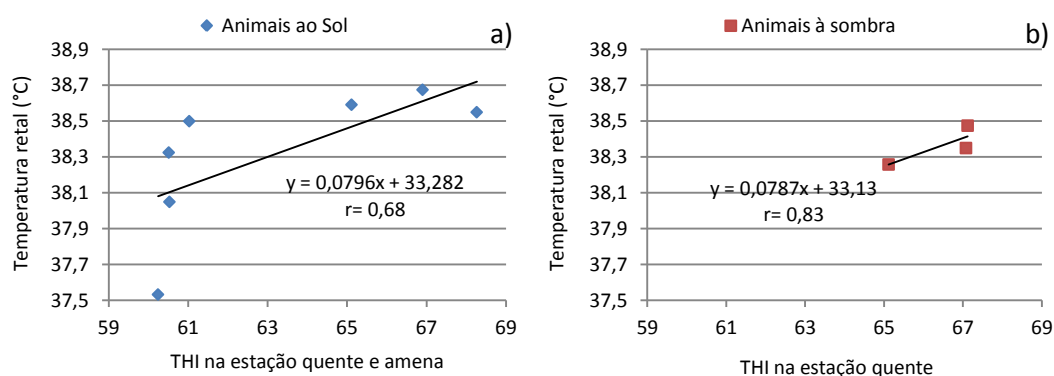


Figura 25 — Representação gráfica da relação entre os valores médios da temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o THI, no período experimental para a raça *Limousine*.

Entre a temperatura retal e a temperatura de globo negro, verificou-se para os animais ao Sol na estação quente e amena uma correlação positiva forte ( $r = 0,73$ ), em que uma subida de  $1^{\circ}\text{C}$  da temperatura do globo negro provocou um aumento de aproximado de  $0,041\text{ }^{\circ}\text{C}$  na temperatura retal (Figura 26a). Nos animais à sombra obteve-se uma correlação negativa forte ( $r = -0,86$ ). As flutuações registadas na temperatura retal dos animais à sombra durante o período experimental não podem ser interpretadas como uma resposta fisiológica ao ambiente térmico, mas sim, o resultado de variações individuais dos animais (Figura 26b).

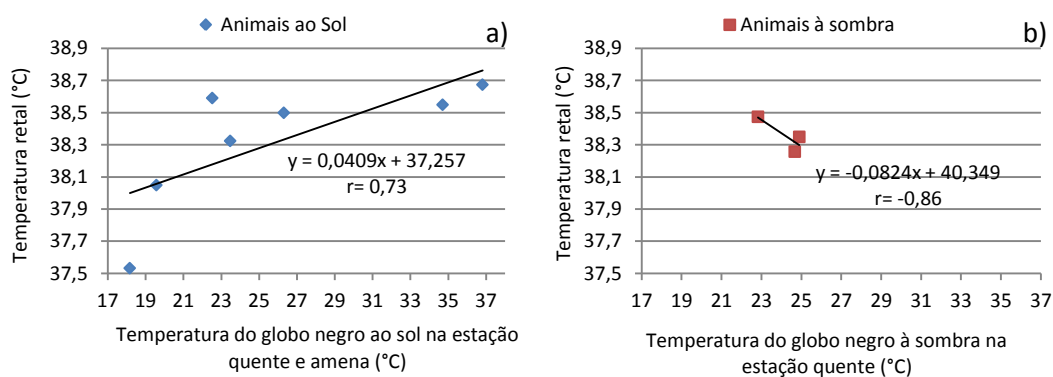


Figura 27 — Representação gráfica da relação dos valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e a temperatura do globo negro (°C), no período experimental para a raça *Limousine*.

Nos animais ao Sol na estação quente e amena, a relação entre o BGHI e a temperatura retal foi semelhante à da temperatura do globo negro, ou seja, uma correlação positiva forte ( $r = 0,76$ ). O acréscimo de uma unidade de BGHI resultou num aumento de  $0,039$  °C na temperatura retal (Figura 27a). Nos animais à sombra (Figura 27b), a relação do BGHI com a temperatura retal foi também semelhante à da temperatura do globo negro, ou seja, uma correlação negativa forte ( $r = -0,97$ ) quase perfeita. Isto pode ser explicado porque o BGHI é calculado a partir da temperatura do globo negro, aplicando-se assim as justificações anteriormente referidas para a relação entre a temperatura retal este parâmetro climático.

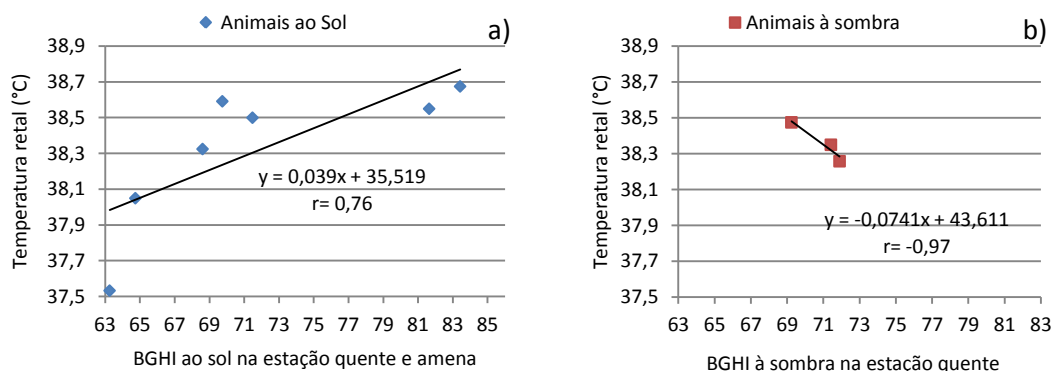


Figura 26 — Representação gráfica da relação dos valores médios da temperatura retal (°C), na estação quente e amena (ao Sol) e na estação quente (à sombra), e o BGHI, no período experimental para a raça *Limousine*.

Observou-se uma temperatura retal média de  $38,66 \pm 0,23$  °C para os animais ao Sol e de  $38,41 \pm 0,31$  °C para os animais à sombra, ambas na estação quente. Para os animais ao Sol na estação amena verificou-se uma temperatura retal média de  $37,78 \pm 1,05$  °C (Quadro 18).

Quadro 19 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal (°C) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena ao (Sol) para a raça *Limousine*.

Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Temperatura retal média (°C)	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	12	38,66	0,23	0,067	38,15	38,97
Sombra	12	38,41	0,31	0,090	37,57	38,80
Estação amena						
Sol	12	37,78	1,05	0,30	34,80	38,80

Obteve-se entre os animais ao Sol na estação quente e amena diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), bem como entre os animais ao Sol na estação amena e os animais à sombra na estação quente ( $p < 0,05$ ). Contudo, não se verificaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os animais ao Sol e à sombra na estação quente.

Na estação quente, registou-se às 9 horas uma média de  $38,59 \pm 0,21$  °C para os animais ao Sol e de  $38,25 \pm 0,49$  °C para os animais à sombra, e de  $36,95 \pm 1,53$  °C para os animais ao Sol na estação amena. Às 15 horas, seguindo aquela ordem de condições de ambiente térmico,

Quadro 18 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da temperatura retal (°C) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas, na raça *Limousine*.

Tempo (h)	Condições de ambiente térmico	Nº de medições	Temperatura retal média (°C)	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
9	Estação quente						
	Sol	4	38,59	0,21	0,11	38,30	38,80
	Sombra	4	38,25	0,49	0,25	37,57	38,62
	Estação amena						
	Sol	4	36,95	1,53	0,77	34,80	38,10
15	Estação Quente						
	Sol	4	38,60	0,31	0,16	38,15	38,87
	Sombra	4	38,44	0,16	0,08	38,23	38,60
	Estação amena						
	Sol	4	38,33	0,43	0,21	37,80	38,80
18	Estação quente						
	Sol	4	38,78	0,17	0,08	38,57	38,97
	Sombra	4	38,55	0,17	0,08	38,43	38,80
	Estação amena						
	Sol	4	38,05	0,29	0,14	37,70	38,40

obteve-se  $38,6 \pm 0,31$  °C,  $38,44 \pm 0,16$  °C e  $38,33 \pm 0,43$  °C. Às 18 horas, as médias na estação quente foram de  $38,78 \pm 0,17$  °C e  $38,55 \pm 0,17$  °C para os animais ao Sol e à sombra, em respetivo, e nos animais ao Sol na estação amena foi de  $38,05 \pm 0,29$  °C (Quadro 19).

Quando se considerou a hora da medição da temperatura retal, verificou-se, para as 9 horas, diferenças significativas entre os animais ao Sol na estação quente e amena ( $p < 0,05$ ). Entre os animais ao Sol na estação amena e os animais à sombra na estação quente não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ), bem como, entre os animais ao Sol e à sombra na estação quente. A ocorrência daquelas diferenças significativas às 9 horas pode ter estado relacionada com o facto dos animais na estação amena poderem ter estado sujeitos a um ambiente térmico com condições meteorológicas mais adversas na noite anterior ao ensaio, o poderá ter provocado maiores perdas de calor corporal, e conseqüentemente uma descida da temperatura retal.

Às 15 horas, nenhuma das comparações entre as condições de ambiente térmico em estudo obtiveram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). Por fim, às 18 horas, houve diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre os animais ao Sol na estação quente e amena e diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre e os animais ao Sol na estação amena e os animais à sombra na estação quente. Para esta hora, a comparação entre os animais à sombra e ao Sol na estação quente não obteve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). As diferenças observadas para as 18 horas poderão estar relacionadas com o facto de se ter registado um fim de tarde com céu limpo na estação amena, tendo assim proporcionado maiores perdas de calor por radiação e conseqüentemente provocou uma descida ligeira na temperatura retal média.

#### **3.3.3. Concentração de cortisol plasmático**

Observou-se uma concentração média de cortisol de  $2,99 \pm 2,21$   $\mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação quente, de  $2,29 \pm 1,09$   $\mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais à sombra na mesma estação e de  $1,31 \pm 0,92$   $\mu\text{g dl}^{-1}$  para os animais ao Sol na estação amena (Quadro 20). Relativamente às diferenças estatísticas entre as condições de ambiente térmico em estudo, estas não se verificaram entre animais ao Sol e os animais à sombra, na estação quente ( $p > 0,05$ ), nem entre os animais à sombra na estação quente e os animais ao Sol na estação amena. Contudo, entre os animais ao Sol na estação quente e na estação amena existiram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). A existência destas diferenças significativas não esteve relacionada com condições de *stress* térmico, pois as condições climáticas que se registaram durante o período experimental podem ser consideradas de neutralidade térmica.

Quadro 20 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) e na estação amena (ao Sol) para a raça *Limousine*.

Condições de ambiente térmico	Nº de amostras	Concentração média de cortisol ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
Estação quente						
Sol	5	2,99	2,21	0,99	1,25	6,85
Sombra	8	2,29	1,09	0,39	0,91	4,64
Estação amena						
Sol	12	1,31	0,92	0,27	0,20	3,10

Por outro lado, o facto de o cortisol ser uma hormona pulsátil, onde os picos apenas não surgem por efeito de *stress* térmico por calor, mas também por ocorrência de outros estímulos internos e externos ao animal, torna difícil reconhecer quais as razões que levaram ao aumento da sua concentração.

Considerando as horas em que efetuou-se as recolhas das amostras de sangue para a análise do cortisol plasmático, obteve-se as concentrações médias e os respetivos desvios

Quadro 21 — Média, desvio padrão, erro padrão, mínimo e máximo da concentração de cortisol plasmático ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ ) na estação quente (ao Sol e à sombra) na estação amena (ao Sol) para as 9, 15 e 18 horas na raça *Limousine*.

Tempo (h)	Condições de ambiente térmico	Nº de amostras	Concentração média de cortisol ( $\mu\text{g dl}^{-1}$ )	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo	Máximo
	Estação quente						
	Sol	2	2,21	0,14	0,10	2,11	2,31
	Sombra	3	1,78	0,76	0,44	0,91	2,37
	Estação amena						
	Sol	4	1,33	1,03	0,51	0,40	2,70
15	9						
	Sol	2	4,05	3,97	2,80	1,25	6,85
	Sombra	3	3,20	1,26	0,73	2,33	4,64
	Estação amena						
	Sol	4	1,70	0,99	0,49	1,00	3,10
18	Estação quente						
	Sol	1	2,41	----	----	----	----
	Sombra	2	1,71	0,21	0,15	1,56	1,86
	Estação amena						
	Sol	4	0,90	0,81	0,40	0,20	2,00

padrões que se encontram reunidos no Quadro 21. Não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as concentrações de cortisol das condições de ambiente térmico em estudo.

### 3.3.3. Aplicação do modelo Torrid

No cálculo do balanço térmico para os animais ao Sol da raça *Limousine*, considerou-se uma produção de calor metabólico de 662 W ( $135,42 \text{ W m}^{-2}$ ) e obteve-se os resultados que se encontram reunidos no Quadro 22.

Nos animais da raça *Limousine*, verificou-se, através da simulação entre as 11 e as 17 horas, um balanço térmico que se pode considerar nulo, não se registando a acumulação de calor corporal.

Quadro 22 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média(%), e valores do cálculo do balanço térmico por hora, na raça *Limousine*.

Tempo (h)	Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Humidade relativa média (%)	$Q_M$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	$E_r$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	HS ( $\text{W m}^{-2}$ )	$E_p$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	R ( $\text{W m}^{-2}$ )	$C_{cv}$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	$R_s$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	Balanço Térmico ( $\text{W m}^{-2}$ )
11	19,77	70,463	135,42	80,82	0	59,03	145,74	54,01	204,18	$3,31 \times 10^{-8}$
12	20,60	66,56	135,42	88,66	0	59,03	145,48	53,56	211,31	$2,90 \times 10^{-7}$
13	21,15	69,32	135,42	93,10	0	59,03	144,78	52,99	214,48	$8,54 \times 10^{-7}$
14	21,43	66,47	135,42	94,92	0	59,03	144,21	52,59	215,34	$9,22 \times 10^{-7}$
15	21,26	67,61	135,42	93,63	0	59,03	144,46	52,78	214,48	$8,71 \times 10^{-7}$
16	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
17	21,17	67,36	135,42	87,78	0	59,03	141,50	51,29	204,18	$3,37 \times 10^{-7}$

As perdas de calor por evaporação através da respiração elevaram-se, há medida que a temperatura média do ar e os ganhos por radiação solar aumentaram. Às 14 horas, quando se verificou o valor mais elevado da temperatura média do ar ( $21,43 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e dos ganhos de calor por radiação solar ( $215,34 \text{ W m}^{-2}$ ), as perdas de calor por evaporação através do trato respiratório também atingiram o seu valor mais elevado ( $94,92 \text{ W m}^{-2}$ ). As perdas de calor latente representaram, nesse período do dia, uma percentagem de 43,52% das perdas totais de calor. Posteriormente, as perdas de calor por evaporação através do trato respiratório decresceram com a descida da temperatura do ar e os ganhos de calor por radiação solar.

Em relação aos mecanismos de dissipação de calor por via sensível, apresentaram os valores mais altos às 11 horas,  $145,74 \text{ W m}^{-2}$  para a radiação e  $54,01 \text{ W m}^{-2}$  para convecção (58,82 % das perdas totais de calor), tendo decrescido posteriormente, até às 18 horas. Como já foi referido para as outras raças, isto poderá ter ocorrido por que nas primeiras horas das medições o gradiente térmico entre o animal e o ambiente foi maior. Nas últimas horas da tarde, apesar da descida da temperatura e dos ganhos por radiação solar, as perdas por calor sensível não voltaram a aumentar devido à possível diminuição de gradiente térmico através do calor emitido pelas superfícies radiantes que se acumulou ao longo do dia.

O balanço térmico foi assegurado em grande parte pelos processos de dissipação de calor por via sensível. Contudo, a dissipação de calor também foi efetuada através da via latente, nomeadamente através da evaporação do calor no trato respiratório. O uso desta via latente ocorreu sobretudo quando a temperatura média do ar ou os ganhos de calor por radiação solar se elevaram.

Quadro 23 — Valores da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), humidade relativa média (%), e valores da taxa de respiração estimada e observada ( $\text{mr min.}^{-1}$ ), na raça *Limousine*.

Tempo (h)	Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Humidade relativa média (%)	Taxa de respiração ( $\text{mr min.}^{-1}$ )	
			Estimada	Observada
11	19,77	70,46	35,57	45,50
12	20,60	66,56	40,59	47,00
13	21,15	69,32	44,46	50,00
14	21,43	66,47	45,59	45,00
15	21,26	67,61	44,79	47,00
16	----	----	----	----
17	21,17	67,36	41,19	43,00

Em relação aos resultados obtidos para a taxa de respiração, nos animais ao Sol, verificou-se que a simulação apresentou valores ligeiramente abaixo dos observados (Quadro 23). Contudo, estes apresentaram a mesma variação, isto é, ao longo do dia, há medida que a temperatura média do ar e os ganhos de calor por radiação solar se elevaram, as taxas de respiração também aumentaram, até atingiram um valor máximo, voltando a decrescer posteriormente (Figuras 28a e 28b).

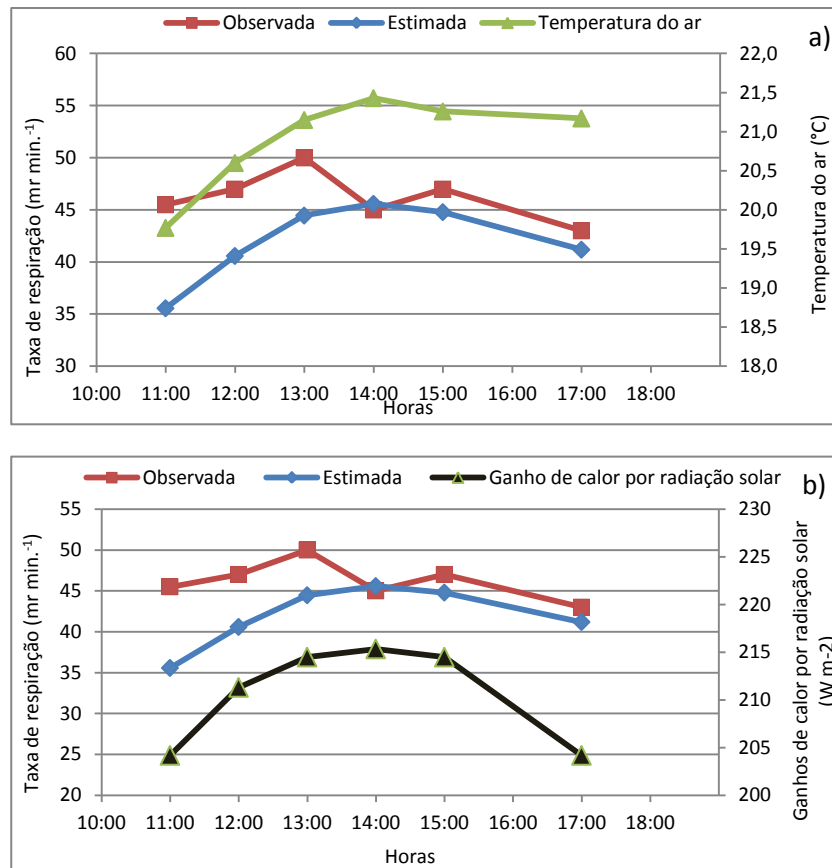


Figura 28 — Representação gráfica da relação entre a taxa de respiração (valores médios observados nos animais ao sol na estação quente e estimados pelo modelo) e a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e os ganhos de calor por radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ), ao longo do dia, para a raça *Limousine*.

Tal como aconteceu com as raças anteriores, o modelo Torrid não apresentou resultados consistentes com as observações realizada. Admitindo-se, para esta raça, as mesmas razões referidas anteriormente para ocorrência desta situação. Assim, não foi possível comparar os balanços térmicos e as taxas de respiração dos animais ao Sol e à sombra.

## 4. Conclusões e perspectivas futuras

O presente estudo pretendeu determinar o efeito do uso de sombra artificial em bovinos de leite e carne nas condições climáticas açorianas, durante a estação quente, em condições de temperatura e a radiação solar elevadas, considerando as respostas na taxa de respiração, na temperatura retal e na concentração do cortisol. Assim como, estimar o balanço térmico e a taxa de respiração dos animais ao Sol e à sombra.

Nos animais da raça *Holstein*, ao sol na estação quente, a taxa de respiração obteve uma melhor correlação com a temperatura do ar ( $r = 0,69$ ) do que com a temperatura do globo negro ( $r = 0,35$ ). A taxa de respiração aumentou, por cada grau centígrado daquelas temperaturas,  $4,53 \text{ ml min}^{-1}$  e  $0,93 \text{ ml min}^{-1}$ , respetivamente. O THI registou a melhor correlação ( $r = 0,68$ ) com a taxa de respiração, onde se verificou um aumento de  $3,61 \text{ ml min}^{-1}$  por unidade, enquanto o BGHI ( $r = 0,59$ ) apenas desencadeou um aumento de  $1,09 \text{ ml min}^{-1}$ .

Nos animais da raça *Holstein*, à sombra na estação quente, verificaram-se correlações negativas fracas entre a taxa de respiração e os parâmetros climáticos, e entre aquela e os índices de conforto térmico. Concluiu-se que a fraca correlação com a temperatura do ar ( $r = -0,11$ ) pode ser explicada pela temperatura utilizada para esta análise ter sido registada fora da zona de sombreamento, não considerando as verdadeiras condições ambientais daquela zona. A correlação fraca obtida com a temperatura do globo negro ( $r = -0,23$ ) à sombra pode ter resultado da maior influência da temperatura do ar sobre as variações deste parâmetro climático, pois só uma pequena fração da radiação solar penetrou na rede de sombreamento. O THI e BGHI apresentaram correlações semelhantes ( $r = -0,19$  e  $r = -0,26$ , respetivamente), pois estes são calculados a partir da temperatura do ar e do globo negro. Assim, verificou-se que apesar das variações nas temperaturas do ar e do globo negro, bem como no THI ou no BGHI, a taxa de respiração mostrou uma tendência para se manter constante. As diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ) observadas entre os animais ao Sol e à sombra na estação quente mostraram que o sombreamento teve um nítido efeito positivo na melhoria do conforto térmico dos animais.

A temperatura retal apresentou uma maior correlação com a temperatura do ar ( $r = 0,77$ ), nos animais ao Sol da raça *Holstein*, na estação quente, onde se registou um acréscimo de  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  na temperatura retal por  $1^\circ\text{C}$ . O THI apresentou uma correlação semelhante à do BGHI ( $r = 0,69$  e  $r = 0,70$ , respetivamente). Contudo, o THI apresentou um incremento maior

sobre a temperatura retal (0,08 °C). Nos animais à sombra verificou-se que a temperatura retal apresentou correlações positivas fracas com os parâmetros climáticos e com os índices de conforto térmico, exceto com o THI ( $r = 0,50$ ). A correlação forte com o THI pode ter ocorrido devido à influência da humidade relativa do ar elevada que se registou. Desta forma, existiram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre a temperatura retal dos animais ao Sol e à sombra na estação quente. Encontrou-se também diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre estas condições de ambiente térmico quando se considerou a hora em que foi efetuada a medição da temperatura retal (15 horas). Pode-se assim dizer que uso do sombreamento artificial teve um efeito reduzido sobre a temperatura retal dos animais.

A concentração de cortisol plasmático dos animais da raça *Holstein*, não registou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as condições de ambiente térmico em estudo, nem mesmo quando se considerou a hora da recolha das amostras. Conclui-se, assim, que as condições climáticas na estação quente açoriana não tiveram reflexo sobre a concentração de cortisol plasmático.

Na estimativa do balanço térmico dos animais ao Sol da raça *Holstein*, conclui-se que os processos de dissipação de calor por via sensível registaram os valores máximos nas primeiras horas de medição, quando o gradiente térmico animal-ambiente foi maior. Isto equivaleu a 63 % das perdas totais de calor. Em relação às perdas de calor latente, em particular as perdas de calor por evaporação através do trato respiratório, estimou-se um incremento quando a temperatura média do ar e os ganhos de calor por radiação aumentaram, atingindo o seu valor máximo por volta das 14 horas. Nessa hora a percentagem máxima estimada de perdas de calor latente foi de 41 % das perdas totais de calor, o que mostra que, embora as perdas de calor por via latente tenham aumentado, o esforço termorregulador não foi importante porque as condições do ambiente térmico obtidas são consideradas de neutralidade térmica. As taxas de respiração observadas e estimadas apresentaram valores semelhantes ao longo do dia, concluindo-se que aumentaram com a temperatura do ar e os ganhos de calor por radiação solar.

Nos animais ao Sol da raça *Aberdeen-Angus*, obtiveram-se boas correlações entre a taxa de respiração e os parâmetros climáticos, e entre aquela e os índices de conforto térmico, quando os dados da estação quente e da amena foram considerados em conjunto. As temperaturas do ar e do globo negro obtiveram a mesma correlação com a taxa de respiração ( $r = 0,85$ ). Contudo, o aumento de 1 °C da temperatura do ar desencadeou um maior incremento na taxa de respiração (2,21  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ) do que a temperatura do globo negro (1,66

mr min<sup>-1</sup>). Os valores das correlações com o THI e com o BGHI, foram semelhantes ( $r = 0,86$  e  $r = 0,87$ , respetivamente), bem como o aumento da taxa de respiração pelo acréscimo de uma unidade destes índices (1,76 mr min.<sup>-1</sup> vs. 1,45 mr min.<sup>-1</sup>, respetivamente). No entanto, nos animais ao Sol na estação quente, apesar da correlação positiva fraca ( $r = 0,42$ ), verificou-se um aumento de 2,22 mr min.<sup>-1</sup> por unidade de THI. A relação com o BGHI foi semelhante à análise efetuada com as 2 estações em conjunto (1,42 mr min.<sup>-1</sup>), apenas diminuindo a correlação ( $r = 0,53$ ).

Nos animais à sombra da raça *Aberdeen-Angus*, na estação quente, verificaram-se correlações negativas fracas entre a temperatura do ar e o THI com a taxa de respiração, tendo-se observado para o THI uma correlação quase nula ( $r = -0,057$ ). Estas correlações fracas podem ser explicadas pelas razões referidas anteriormente para os animais à sombra da raça *Holstein*. Para a temperatura do globo negro e para o BGHI verificaram-se correlações positivas fracas com a taxa de respiração ( $r = 0,29$  e  $r = 0,35$ , respetivamente). O aumento verificado na taxa de respiração foi, aproximadamente, de 0,6 mr min.<sup>-1</sup>. Conclui-se que independentemente das variações nos parâmetros climáticos e nos índices de conforto térmico, a taxa de respiração mostrou uma tendência para se manter constante. As diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre as taxas de respiração dos animais ao Sol e à sombra na estação amena mostraram que o sombreamento artificial teve um efeito positivo no conforto térmico. A inexistência de diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as taxas de respiração dos animais ao Sol na estação amena e os animais à sombra na estação quente permitiu concluir que a sombra terá proporcionado um ambiente térmico semelhante ao que se verificou na estação amena.

Entre a temperatura retal e os parâmetros climáticos, e entre aquela e os índices de conforto térmico nos animais da raça *Aberdeen-Angus* ao Sol não se verificaram correlações. Nos animais à sombra na estação quente, verificaram-se correlações negativas fracas para a temperatura do ar e o THI com a temperatura retal ( $r = -0,23$  e  $r = -0,21$ , respetivamente), e correlações positivas fracas daquela com a temperatura do globo negro e com o BGHI ( $r = 0,22$  e  $r = 0,21$ , respetivamente). Contudo, as variações registadas na temperatura retal dos animais à sombra foram impercetíveis. Não se obtiveram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as temperaturas retais nas condições de ambiente térmico em estudo, nem quando se considerou a hora em que foi efetuada a medição.

Na concentração de cortisol plasmático dos animais da raça *Aberdeen-Angus*, não se verificaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ), concluindo-se que as condições ambientais não influenciaram a concentração desta hormona.

Na estimativa do balanço térmico dos animais ao Sol da raça *Aberdeen-Angus*, conclui-se, mais uma vez, que os processos de dissipação de calor por via sensível registaram os valores máximos nas primeiras horas de medição, quando o gradiente térmico animal-ambiente foi maior. Isto equivaleu a 56,74 % das perdas totais de calor. Nas perdas de calor latente, em particular as perdas de calor por evaporação através do trato respiratório, estimou-se um incremento quando a temperatura média do ar e os ganhos de calor por radiação aumentaram, atingindo o seu valor máximo por volta das 15 horas. Nessa hora a percentagem máxima estimada de perdas de calor latente foi de 45 % das perdas totais de calor. Nessa hora a percentagem máxima estimada de perdas de calor latente foi de 45 % das perdas totais de calor. Assim, embora as perdas de calor por via latente tenham aumentado, as condições do ambiente térmico não exigiram um esforço termorregulador importante.

Os valores estimados da taxa de respiração ficaram próximos dos valores observados, tal como aconteceu na raça *Holstein*, variando com o aumento da temperatura do ar e os ganhos de calor por radiação solar.

Nos animais da raça *Limousine*, ao Sol na estação quente e amena, a taxa de respiração obteve uma correlação maior com a temperatura do globo negro ( $r = 0,63$ ) e do que com a temperatura do ar ( $r = 0,33$ ). Contudo, o maior aumento da taxa de respiração foi encontrado com a temperatura do ar ( $2,26 \text{ mr min.}^{-1}$ ). Nos animais à sombra obteve-se uma correlação forte negativa ( $r = -0,56$ ) entre a taxa de respiração e a temperatura do ar, explicada por a temperatura do ar ter sido registada fora da zona de sombreamento e/ou ainda devido à reduzida flutuação da temperatura do ar. Assim, a variação da taxa de respiração pode ter sido uma consequência da atividade física e das características individuais dos animais, e não uma resposta termorreguladora. Em relação à temperatura do globo negro não se obteve uma correlação com a taxa de respiração.

Nos índices de conforto térmico, verificaram-se correlações semelhantes entre a taxa de respiração e o THI, e entre aquela e o BGHI ( $r = 0,66$  e  $r = 0,64$ , respetivamente) quando os dados da estação quente e da amena foram considerados em conjunto. Quando se avaliou apenas os dados da estação quente, apesar da correlação positiva fraca ( $r = 0,23$ ), o aumento registado na taxa de respiração por unidade de THI foi o mais elevado ( $1,24 \text{ mr min.}^{-1}$ ). Nos

animais à sombra na estação quente, a correlação entre a taxa de respiração e o THI foi igual ( $r = -0,56$ ) à obtida entre aquela e a temperatura do ar, uma vez que este índice foi calculado a partir deste parâmetro climático, o qual foi registado fora da zona de sombreamento. Assim, a reduzida amplitude térmica, a atividade física e as características individuais dos animais, podem ter-se sobreposto a uma eventual resposta termorreguladora. Para o BGHI, obteve-se uma correlação positiva fraca ( $r = 0,19$ ), registou-se uma variação impercetível na taxa de respiração.

As diferenças altamente significativas ( $p < 0,001$ ), entre as taxas de respiração dos animais ao Sol e à sombra na estação quente, resultaram do uso de sombreamento, o qual teve um efeito positivo sobre o conforto térmico. Não ocorreram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as taxas de respiração dos animais à sombra na estação quente e os animais ao sol na estação amena, o que permite considerar que as condições de sombreamento proporcionaram um ambiente térmico semelhante ao que ocorreu na estação amena.

Na raça *Limousine*, obtiveram-se correlações positivas fortes entre a temperatura retal dos animais ao sol na estação quente e amena e os parâmetros climáticos, e entre aquela e os índices de conforto térmico. Apesar da temperatura do globo negro ter registado a maior correlação ( $r = 0,73$ ), foi com a temperatura do ar ( $r = 0,66$ ) que se obteve o maior incremento de temperatura retal ( $0,1\text{ °C}$ ) por  $1\text{ °C}$ . Nos índices de conforto, o BGHI registou a maior correlação ( $r = 0,76$ ) e o THI ( $r = 0,68$ ) o maior incremento de temperatura retal ( $0,08\text{ °C}$ ) por unidade.

Nos animais à sombra da raça *Limousine*, verificaram-se correlações positivas fortes entre a temperatura retal e a temperatura do ar, e entre aquela e o THI ( $r = 0,84$  e  $r = 0,83$ , respetivamente), assim como correlações negativas fortes com a temperatura do globo negro ( $r = -0,86$ ) e com o BGHI ( $r = -0,97$ ). As correlações negativas fortes observadas com a temperatura do ar e com o THI podem ser explicadas pelas razões anteriormente referidas sobre o local de registo da temperatura do ar, à reduzida amplitude térmica e às características ligadas aos animais. Com o BGHI, as flutuações registadas na temperatura retal não puderam ser interpretadas como uma resposta fisiológica ao ambiente térmico, mas sim, como o resultado de variações individuais dos animais. Não foram obtidas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as temperaturas retais dos animais ao Sol e à sombra na estação quente.

Na concentração de cortisol plasmático, não foram detetadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os animais ao Sol e à sombra na estação quente. A ocorrência de diferenças

significativas ( $p < 0,05$ ) entre os animais ao Sol na estação amena e na estação quente não podem ser explicadas pelo efeito das condições de *stress* térmico. Pois as condições climáticas que se registaram durante o período experimental são consideradas de neutralidade térmica.

Na estimativa do balanço térmico dos animais ao Sol da raça *Limousine*, conclui-se, mais uma vez, que os processos de dissipação de calor por via sensível registaram os valores máximos nas primeiras horas de medição, quando o gradiente térmico animal-ambiente foi maior. Isto equivaleu a 58,82 % das perdas totais de calor. Nas perdas de calor latente, em particular as perdas de calor por evaporação através do trato respiratório, estimou-se um incremento quando a temperatura média do ar e os ganhos de calor por radiação aumentaram, atingindo o seu valor máximo por volta das 14 horas. Nessa hora a percentagem máxima estimada de perdas de calor latente foi de 43,52 % das perdas totais de calor, tendo-se verificado um esforço termorregulador semelhante as raças anterior, pois as condições de ambiente térmico também foram de neutralidade térmica. Os valores da taxa de respiração estimados foram um pouco inferiores aos observados, embora a sua variação ao longo do dia tenha sido prevista pelo modelo, reagindo às flutuações da temperatura do ar e aos ganhos de calor por radiação solar.

Nos animais à sombra, o modelo não apresentou resultados consistentes com os valores observados para nenhuma das raças em estudo, o que pode ser explicado por alguns dos parâmetros climáticos utilizados na simulação terem sido medidos fora da zona de sombreamento, e por desajustamento de parâmetros relacionados com características dos animais. Assim, não foi possível comparar o balanço térmico e a taxa de respiração dos animais ao Sol com os animais à sombra.

De forma geral, conclui-se que o sombreamento artificial teve um efeito sobre as respostas fisiológicas dos animais das raças em estudo, em particular na taxa de respiração e na temperatura retal. Nas raças em que foram registadas ligeiras variações na temperatura retal, o efeito no balanço térmico foi irrelevante, em função das condições de ambiente térmico que ocorreram durante o período experimental.

## 5. Referências bibliográficas

- Abilay T.A.; Mitra, R. e Johnson H.D. (1975). Plasma cortisol and total progesterin levels in Holstein steers during acute exposure to high environmental temperature (42 °C) conditions. *Journal of Animal Science*, 41: 113-117.
- AFRC (1993). *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. Editado por CAB International. Wallingford, Oxon, England.
- Alexander, G. (1974). Heat loss from sheep. In *Heat Loss from Animals and Man*. Editado por J.L. Monteith e L.E. Mount. Butterworths. London. pp. 173-203.
- Alexander, G.; Bennet, J.W. e Gemmel, R.T. (1975). Brown adipose tissue in the new-born calf. *The Journal of Physiology*, 244: 223-234.
- Alexander, G.; Hales, J.R.S.; Stevens, D. e Donnelly, J.B. (1987). Effects of acute and prolonged exposure to heat on regional blood flow in pregnant sheep. *Journal of Developmental Physiology*, 9: 1-8.
- Alvarez, M.B. (1968). *Relation of environmental temperature to the activity of the adrenosympathetic system of cattle*. PhD Thesis. University of Missouri. United States of America.
- Alvarez, M.B. e Johnson, H.D. (1973). Environmental heat exposure on cattle plasma catecholamine and glucocorticoids. *Journal of Dairy Science*, 56: 189-194.
- Ames, D.R. e Brink, D.R. (1977). Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. *Journal of Animal Science*, 44: 136-140.
- Andersson, M. (2009). *The importance of shade for dairy cattle in Sweden*. Master Thesis. Swedish University of Agricultural Science, Department of Animal Nutrition and Management. Uppsala.
- Ansell, R.H. (1981). Extreme heat stress in dairy cattle and its alleviation: a case report. In *Environmental Aspects of Housing for Animal Production*. Editado por J.A. Clark. Butterworths. London. pp. 285-306.
- ARC (1980). *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Editado por Commonwealth Agricultural Bureaux.
- Aréchiga, C.F. e Hansen, P.J. (2003). Efectos climáticos adversos en la función reproductiva de los bovinos. *Veterinaria Zacatecas*, 2: 89-109.
- Arias, R.A.; Mader, T.L. e Escobar, P.C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinária*, 40: 7-22
- Armstrong, D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77: 2044-2050.

- Aschoff, J.; Biebach, H.; Heise, A. e Schmidt, T. (1974). Day-night variation in the heat balance. *Heat Loss from Animals and Man*. Editado por J.L. Monteith e L.E. Mount. Butterworths. London. pp. 147-172.
- Badinga, L.; Thatcher, W.W.; Díaz, T.; Drost, M. e Wolfelson, D. (1993). Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. *Theriogenology*, 39: 797-810.
- Bandaranayaka, D.D. e Holmes, C.W. (1976). Changes in the composition of milk and rumen contents in cows exposed to a high ambient temperature with controlled feeding. *Journal of Tropical Animal Health and Production*, 8: 38-46.
- Beede, D. K.e Collier, R. J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science*, 62:543-554.
- Beede, D.K.; Bray, D.R.; Bucklin, R.A.; Elinger, F. e Shearer, J.K. (1987). Integration of cooling methods for environmental management systems in hot humid environments. *Proceedings of the 24<sup>th</sup> Annual Florida Dairy Production Conference*. pp 68-93.
- Bendsadoun, A. e Reid, J.T. (1962). Estimation of rate of portal blood flow in ruminants: Effect of feeding, fasting and anesthesia. *Journal of Dairy Science*, 45: 540-543.
- Benjamin, M.M. (1981). Fluid and electrolytes. In: *Outline of Veterinary Clinical Pathology*. Iowa State University Press. Ames, Iowa, United States of America. pp 213-238
- Berman, A.; Folman, Y.; Kaim, M.; Mamen, M.; Herz, Z.; Wolfenson, D.; Arieli, A. e Graber, Y. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*, 68: 1488-1495.
- Bianca, W. (1965). Reviews of the progress of dairy science. Section A. Physiology. Cattle in a hot environment. *Journal of Dairy Research*, 32: 291-345.
- Bianca, W. (1968). Thermoregulation. In: *Adaptation of Domestic Animals*. Editado por E.S.E. Hafez. Lea & Febiger. Philadelphia. pp. 97-118.
- Biggers, B.G.; Geisert, R.D.; Wetteman, R.P. e Buchanan, D.S. (1987). Effect of heat stress on early embryonic development in the beef cow. *Journal of Animal Science*, 64: 1512-1518.
- Blaxter, K.L.; Joyce, J.P. e Webster, A.J.F. (1964). Investigations of environmental stress in sheep and cattle. In *2<sup>nd</sup> Symposium of Shelter Research*. pp. 27-35.
- Bober, M.A.; Becker, B.A.; Valtorta, S.E.; Katt, P.; Mertsching, H.; Johnson, H.D. e Shanklin, M.D. (1980). The relationship of growth hormone and thyroxine to milk production under heat in Holstein cows. *Journal of Animal Science*, 51 (suppl.1): 261-268.
- Bond, T.E. e Kelly, C.F. (1955). The globe thermometer in agricultural research. *Transactions of America Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 36: 251-255.
- Bond, T.E.; Kelly, C.F. e Heitman, H.Jr. (1958). Improving livestock environment in high-temperature areas. *Journal of Heredity*, 49:75-9.

- Bray, D.R.; Bucklin, R.A.; Montoya, R. e Giesy, R. (1994). Cooling methods for dairy housing in the southeastern United States. *American Society of Agricultural Engineers (ASAE) Meeting*. St. Joseph, Michigan. *Paper No. 94-4501*.
- Brengelmann, G. e Brown, A.C. (1965). Temperature regulation. In *Physiology and Biophysics*. Editado por T.C. Ruch e H.D. Patton. W.B. Saunders Company. Ontario, United States of America. pp. 1050-1069.
- Brody, S. (1945). *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publishing Corporation. New York.
- Brown-Brandl, T.M.; Eigenberg, R.A.; Nienaber, J.A. e Hahn, G.L. (2005). Dynamic response indicators of heat *stress* in shaded and nonshaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90: 451-462.
- Buffington, D.E.; Collazo Arocho, A.; Canton, G.H.; Pitt, D.; Thatcher, W.W. e Collier, R.J. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 24 (3): 711-714.
- Buffington, D.E.; Collier, R.J. e Canton, G.H. (1983). Shade management systems to reduce heat *stress* for dairy cows in hot, humid climates. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 26: 1798-1802.
- Charmandari, E.; Tsigos, C. e Chrousos, G. (2005). Endocrinology of the *stress* response. *Annual Review of Physiology*, 67: 259-284.
- Christison, G.I. e Johnson, H.D. (1972). Cortisol turnover in heat-stressed cows. *Journal of Animal Science*, 35: 1005-1010.
- Chrousos, G.P. e Gold, P.W. (1992). The concepts of *stress* and *stress* system disorders. Overview of physical and behavioral homeostasis. *Journal of American Medical Association*, 267:1244-52.
- Clark, J.A. e MacArthur, A.J. (1994). Thermal exchanges. In *Livestock Housing*. Editado por C.M. Wathes e D.R. Charles. CAB International. United Kingdom. pp. 97-122.
- Collier, R.J.; Breed, D.K.; Tatcher, W.W.; Israel, L.A. e Wilcox, C.J. (1982a). Influence of environment and its modification on dairy animal health and production. *Journal of Dairy Science*, 65: 2213-2227.
- Collier, R.J.; Dahl, G.E. e Van Baale, M.J. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89: 1244-1253.
- Collier, R.J.; Doelger, S.G.; Head, H.H.; Thatcher, W.W. e Wilcox, C.J. (1982b). Effect of heat *stress* during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, 54: 309-319.
- Collier, R.J.; Eley, R.M.; Sharma, A.K.; Pereira, R.M. e Buffington, D.E. (1981). Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 64:844-849.
- Collins, K.H. e Weiner, H.S. (1968). Endocrinological aspects of exposure to high environmental temperature. *Physiological Reviews*, 48: 785-794.

Commission Internationale du Genie Rural, CIGR (2009). *Animal Housing in Hot Climate. Glossary of Terms on Animal Housing Basic Engineering, Physical and Physiological Definitions*. Published by University of Aarhus. Denmark. Disponível em: <http://www.cigr.org/documents/glossarytermsanimalhousing.pdf>.

Conceição, M. (2008). *Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas em pastagens*. Tese apresentada para obtenção do Título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Física do Ambiente Agrícola. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba.

Coser, A.M.L.; Godinho, H.P. e Fonseca, V.O. (1979). Effect of high temperatures on spermatogenesis in Brazilian woolless rams under experimental conditions. *Arquivos da Escola Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais*, 31: 147-154.

Cunningham, J.G. e B.G. Klein (2007). *Veterinary Physiology* (4ª edição). Saunders Elsevier. Missouri, United States of America.

Curtis, S.E. (1983). Perception of thermal comfort by farm animals. In *Farm Animal Housing and Welfare*. Editado por S.H. Baxter, M.R. Baxter e J.A.C. MacCormack. pp. 59-68.

Damasceno, J.C.; Baccari Júnior, F. e Targa, L.A. (1999). Respostas comportamentais de vacas Holandesas com acesso à sombra constante ou limitada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 34 (4): 709-715.

Dantzer, R. e Mormede, P. (1983). Stress in farm animals: a need for reevaluation. *Journal of Animal Science*, 57: 6-18.

Ealy, A.D.; Drost, M. e Hansen, O.J. (1993). Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *Journal of Dairy Science*, 76: 2899-2905.

Ealy, A.D.; Howell J.L.; Monterroso V.H.; Aréchiga C.F. e Hansen, P.J. (1995). Developmental changes in sensitivity of bovine embryos to heat shock and use of antioxidants as thermoprotectants. *Journal of Animal Science*, 73: 1401-1407.

Eckert, R. (1988). *Animal Physiology – Mechanisms and adaptation* (3ª edição). Editado por W.H. Freeman e Company. New York.

El-Masry, K.A. e Habeeb, A.A. (1989). Thyroid function in lactating Friesian cows and water buffalos under winter and summer Egyptian conditions. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> Egyptian-British Conference on Animal, Fish and Poultry Production*, vol. 2. Alexandria, Egypt. pp 613-620.

El-Nouty, F.D.; ElBanna, I.M.; Davis, T.P. e Johnson, H.D. (1980). Aldosterone and ADH response to heat and dehydration in cattle. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 48 (2): 249-255

Ewy, H.Z. (1987). The role of thyroid in lactation. *Egypt Journal Veterinary Science*, 34 (2): 115-123.

Farghaly, H.A. (1984). *Tyroid and some ovarian hormones and their relation to reproductin in Egyptian water buffalo*. MSc Thesis. Faculty of Agriculture, Cairo University. Cairo.

Finch, V.A. (1986). Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science*, 62: 531-542.

- Folman, Y.; Rosenberg, M.; Ascarelli, I.; Kaim, M. e Herz, Z. (1983). The effect of dietary and climatic factors on fertility, and on plasma progesterone and estradiol-17 $\beta$  levels in dairy cows. *Journal of Steroid Biochemistry*, 19: 863-868.
- Fuller, M.F. (1969). Climate and Growth. In *Animal and Nutrition*. Editado por E.S.E. Hafez e I.A. Dyer. Lea & Febiger. Philadelphia. pp. 82-105.
- Gaughan J.B.; Mader, T.L.; Holt, S.M.; Josey, M.J. e Rowan K.J. (1999). Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 77: 2398-2405.
- Gaughan, J.B.; Holt, S.M.; Hahn, G.L.; Mader, T.L. e Eigenberg, R. (2000). Respiration rate-is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 13 (Suppl. C): 329-332.
- Glaiser, F.D. (2008). *Aspectos comportamentais de bovinos das raças Angus, Caracu e Nelore a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão*. Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Qualidade e Produtividade Animal. Pirassununga.
- Gordon, I.; Boland, M.P.; McGovern, H.; e Lynn, G. (1987). Effect of season on superovulatory responses and embryo quality in Holstein Cattle in Saudi Arabia. *Theriogenology*, 27: 231 (abstract).
- Gwasdauskas, F.C. e Vinson, W.E. (1979). Adrenal response to adrenocorticotropin in Holstein heifers exposed to a cool environment. *Journal of Dairy Science*, 62: 1811-1813.
- Gwazdauskas, F.C.; Thatcher, W.W.; Kiddy, C.A.; Paape, M.J. e Wilcox, C.J. (1981). Hormonal patterns during heat stress following PGF<sub>2 $\alpha$</sub> -tham salt induced luteal regression in heifers. *Theriogenology*, 16: 271-285.
- Gwazdauskas, F.C.; Wilcox, C.J.; Thatcher, W.W. (1975). Environmental and management factors affecting conception rate in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*, 58: 88-92.
- Habeeb, A.A. (1981). Comparison of different tracer techniques of assessment of body fluids in Animals. MSc Thesis. Faculty of Agriculture, Cairo University. Egypt.
- Habeeb, A.A. (1987). *The role of insulin in improving productivity of heat stressed farm animals with different techniques*. PhD Thesis. Faculty of Agriculture, Zagazig University. Zagazig, Egypt.
- Habeeb, A.A.; Abdel-Samee, A.M. e Kamal, T.H. (1989). Effect of heat stress, feed supplementation and cooling technique on milk yield, milk composition and some blood constituents in Friesian cows, under Egyptian conditions. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> Egyptian-British Conference on Animal, Fish and Poultry Production*, vol. 2. Alexandria, Egypt. pp 629-635
- Habeeb, A.A.; Marai, I.F.M.; Daader, A.H.; Yousef, H.N. e Johnson, H.D. (1991). Effects of Egyptian subtropical summer conditions and heat stress alleviation technique of water spray and diaphoretic on growth and physiological functions of Friesian calves. *Annual Meeting of The American Society of Animal Science*. University of Wyoming. Wyoming, United States of America.

- Habeeb, A.A; Marai, I.F. e Kamal, T.H. (1992). Heat stress. In: *Farm animals and the environment*. Editado por C. Phillips e D. Pigginn. CAB International. Wallingford, United Kingdom. pp. 27-47.
- Habib, K.E.; Gold, P.W. e Chrousos, G.P. (2001). Neuroendocrinology of stress. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 30: 695-728.
- Hafez, E.S.E. (1968). Environmental effects on animal productivity. In: *Adaptation of Domestic Animals*. Editado por E.S.E. Hafez. Lea & Febiger. Philadelphia. pp. 74-93.
- Hahn, G.L. (1985). Management and housing of farm animals in hot environments. In *Stress Physiology in Livestock, Vol. 2: Ungulates*. Editado por M. K. Yousef. CRC Press: Boca Raton. United States of America. pp. 151-74.
- Hahn, G.L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*, 77 (sup. 2): 10-20.
- Hahn, L.; Meador, N.F.; Thompson, G.B. e Shanklin, M.D. (1974). Compensatory growth of beef cattle in hot weather and its role in management decisions. *Proceedings of International Livestock Environment Symposium*. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). St. Joseph, Michigan. pp 288-295.
- Hammel, A.M. (1955). Thermal properties of fur. *Journal of Physiology (London)*, 182: 369-376.
- Hansen, P.J. (1990). Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. *Veterinary Record*, 127: 333-334.
- Harris, D.L.; Shrode, R.R.; Rupel, I.W. e Leighton, R.E. (1960). A study of solar radiation as related to physiological and production responses of lactating Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 43: 1255-1262.
- Himms-Hagen, 1972. Lipid metabolism during cold-exposure and during cold acclimation. *Lipids*, 7: 310-323.
- Holmes, C.W. e McLean, N.A. (1975). Effects of air temperature and air movement of the heat produced by young Friesian and Jersey calves, with some measurements of the effects of artificial rain. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 18: 277-284.
- Holmes, C.W.; King, C.T. e Sauwa, P.E.L. (1980). Effects of exposure to a hot environment of Friesian and Brahman X Friesian cattle, with some measurements of the effects of exposure to radiant heat. *Animal Production*, 30: 1-11.
- Howell, J.L.; Fuquay, J.W. e Smith, A.E. (1994). Corpus luteum growth and function in lactating Holstein cows during spring and summer. *Journal of Dairy Science*, 77: 735-739.
- Igono, M.O., Bjotvet, G. e Sanford-Crane, H.T. (1992). Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*, 36: 77-87.
- Ingraham, R.H.; Stanley, R.W. e Wagner, W.C. (1979). Seasonal effects of tropical climate on shaded and nonshaded cows as measured by rectal temperature, adrenal cortex hormones, thyroid hormone, and milk production. *American Journal of Veterinary Research*, 40: 1792-1797.

- Johnston, J.E.; Naelapaa, H. e Frye, J.B. (1961). Physiological responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi crossbred bulls exposed to high temperatures and humidities. *Journal of Animal Science*, 22: 432-436.
- Joyce, J.P.; Blaxter, K.L. e Park, C. (1966). The effect of natural outdoor environments on the energy requirements of sheep. *Research Veterinary Science*, 7: 342-359.
- Kamal, H.D.; Habeeb, A.A.; Abdel-Samee, A.M. e Abdel-Razik, M.A. (1989a). Supplementation of heat-stressed Friesian cow, with urea and mineral mixture and its affect on milk production, in subtropics. *Proceedings of International Symposium on the Constraints and Possibilities of Ruminant Production in the Dry Subtropics*. Cairo, Egypt. pp. 183-185.
- Kamal, H.D.; Habeeb, A.A.; Abdel-Samee, A.M. e Marai, I.F.M. (1989b). Milk production of heat-stressed Friesian cows and its improvements in subtropics. *Proceedings of International Symposium on the Constraints and Possibilities of Ruminant Production in the Dry Subtropics*. Cairo, Egypt. pp. 156-158.
- Kamal, T.H. e Johnson, H.D. (1971). Total body solids as a measure of a short-term heat stress in cattle. *Journal of Animal Science*, 32: 306-311.
- Kamal, T.H. e Seif, S.M. (1969). Changes in total body water and dry body weight with age and body weight in Friesians and water buffaloes. *Journal of Dairy Science*, 52: 1650-1656.
- Kamal, T.H.; Johnson, H.D. e Ragsdale, R.C. (1962). Metabolic reactions during thermal stress (35 to 95 °F) in dairy animals acclimated at 50° and 80 °F. *Missouri Agricultural Experiment Station, Research Bulletin No. 785*.
- Kamwanja, L.A., Schillo, K.K., Hansen, P.J., Hauser, E.R. e Dierschke, D.J. (1980). The influence of season on body weight, growth rate and feed consumption as related to puberty in heifers. *Journal of Animal Science*, 51 (suppl. 1): 289 (Abstract).
- Kleiber, M. (1961). *The Fire of Life*. Editado por John Wiley e Sons. Inc. New York.
- Le Dividich, J.; Herpin, P.; Geraert, P.A. e Vermorel, M. (1992). Cold Stress. In *Farm Animals and the Environment*. Editado por C. Phillips e D. Piggins. CAB International. United Kingdom. pp. 3-25.
- Lee, J.A.; Roussell, J.D. e Beaty, J.F. (1976). Effect of temperature-season on bovine adrenal cortical function blood cell profile and milk production. *Journal of Dairy Science*, 59: 104-114.
- Lew, B.J.; Meidan, R. e Wolfenson, D. (2006). Concentrações hormonais e desenvolvimento folicular de vacas leiteiras em hipertermia sazonal e aguda. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58 (5): 816-822.
- Lozano-Domínguez, R.R. e Gonzalez-Padilla, R.R. (2003). Efecto del estrés calórico sobre la reproducción de vacas lecheras en sistemas intensivos de producción en México. *Memorias del II Simposio Nacional de Infertilidad de la Vaca Lechera*. Torreón: UNAM-DEC. pp. 25-48.
- Macfarlane, W.V. (1981). The housing of large mammals in hot environments. In *Environmental Aspects of Housing for Animal Production*. Editado por J. A. Clark. Butterworths. London. pp. 259-84.

- Maynard, L.A.; Loosli, J.K.; Hintz, H.F. e Warner, R.G. (1979). *Animal Nutrition*. Editado por Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- McDaniel, A.H. e Roark, C.B. (1956). Performance and grazing habits of Hereford and Aberdeen-Angus cows and calves on improved pastures as related to types of shade. *Journal of Animal Science* 15, 59-63.
- McDowell, R.E.; Hooven, N.W. e Camoens, J.K. (1976). Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 59: 965-973.
- McDowell, R.E.; Moody, E.G.; Van Soest, P.J.; Lehmann, R.P. e Ford, G.L. (1969). Effect of heat stress on energy and water utilization of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 52: 188-194.
- McGovern R.E. e Bruce. J.M. (2000). A model of the thermal balance for cattle in hot conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77: 81-92.
- McGuire, M.A.; Beede, D.K.; DeLorenzo, M.A.; Wilcox, C.J.; Huntington, G.B.; Reynolds, C.K. e Collier, R.J. (1989). Plasma Flow and Net Fluxes of Metabolites in Lactating Holstein Effects of Thermal Stress and Level of Feed Intake on Portal Cows. *Journal of Animal Science*, 67: 1050-1060.
- McIlvain, E.H. e Shoop, M.C. (1970). Shade for improving cattle gains and rangeland use. *Journal of Range Management*, 24: 181-184.
- Meireles, I. (2005). *Influência do sombreado artificial em parâmetros fisiológicos e produtivos de vacas mestiças (Holandês x Zebu)*. Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre do Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Zootecnia, área de concentração em Produção de Ruminantes. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga.
- Meyerhoeffler, D.C.; Wettemann, R.P.; Coleman, S.W. e Wells, M.E. (1985). Reproductive criteria of beef bulls during and after exposure to increased ambient temperature. *Journal of Animal Science*, 60: 352-357.
- Mitchell, D. (1974). Convective heat transfer from man and other animals. In *Heat loss from Animals and Man*. Editado por J.L. Monteith and L.E. Mount. Butterworths. London. pp. 59-76
- Mitchell, H.H. (1928). Livestock Investigation, 1927-1928. In *Annual Report of University of Illionis*. Agricultural Experimental Station.
- Mimoso, J.M. (1987). *Transmissão de calor: bases teóricas para aplicação térmica de edifícios*. Editado por L.N.E.C., Lisboa.
- Mohamed, A.A. (1974). *Physiological changes in reproductive organs of buffaloes from parturition to conception*. PhD Thesis. Faculty of Agriculture, Al-Zhar University. Egypt.
- Monty, D.E. e Racowsky, C. (1987). In vitro evaluation of early embryo viability and development in summer heat-stressed superovulated dairy cows. *Theriogenology*, 28: 451-465.
- Morales, C.A. e Rodríguez, N. (2005). Hormonas tiroideas en la reproducción y en la producción láctea del ganado lechero: revisión de literatura. *Revista Colombiana de Ciências Pecuárias*, 18 (2): 136-148.

- Morrison, S.R. (1983). Ruminant heat stress effect on production and means of alleviation. *Journal of Animal Science*, 57 (6): 1594-1600.
- Morrison, S.R. e Lofgreen, G.P. (1979). Beef cattle response to air temperature. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 22: 861-872.
- Mount, L.E. (1974). The concept of thermal neutrality. In: *Heat Loss from Animals and Man Assessment and Control*. Editado por J.L. Monteith. e L.E. Mount. Butterworth. London. pp. 425-439.
- Mount, L.E. (1979). *Adaptation to Thermal Environment: Man and his productive animals*. Editado por Edward Arnold. Contemporary Biology.
- Nääs, I.A. (1989). *Princípios de conforto térmico na produção animal*. Ícone Editora. São Paulo.
- National Research Council, NRC (1981). *Effect of environment on nutrients requirements of domestic animals*. National Academy of Science. Washington DC.
- Nebel, R.L.; Jobst, S.M.; Dransfield, M.B.G.; Pandolfi, S.M. e Bailey, T.L. (1997) Use of radio frequency data communication system, Heat-Watch®, to describe behavioral estrus in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 80 (Suppl. 1):179 (Abstract).
- Niles, M.A.; Collier, R.J. e Croom, W.J. (1980). Effects of heat stress on rumen and plasma metabolite and plasma hormone concentration of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, 5 (Suppl.1): 1952 (Abstract).
- Paes Leme, T.M.S.; Pires, M.F.A.; Verneque, R.S.; Alvim, M.J. e Aroeira, L.J.M. (2005). Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvopastoril. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 29 (3): 668-675.
- Pennington, J.A.; Albright, J.L.; Diekman, M.A. e Callahan C.J. (1985). Sexual activity of Holstein cows: seasonal effects. *Journal of Dairy Science*, 68: 3023–30.
- Petkov, G. (1971). Environmental temperature and milk production of cows. *Veterinaria Sbirka*, 75: 23-28.
- Putney, D.J.; Mullins, S.; Thatcher, W.W.; Drost, M. e Gross T.S. (1989). Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Animal Reproduction Science*; 19:37-51.
- Ragsdale, A.C., Cheng, C.S. e Johnson, H.D. (1957). Effects of constant environmental temperatures of 50 °F and 80 °F on the growth responses of Brahman, Santa Gertrudis, and Shorthorn calves. *Missouri Agriculture Experimental Station, Research Bulletin No. 642*.
- Ragsdale, A.C.; Thompson, H.J.; Worstell, D.M. e Brody, S. (1951). Influence of increasing temperature 4 °F to 105 °F on milk production in Brown Swiss and Brahman cows and heifers. *Missouri Agriculture Experimental Station, Research Bulletin No. 471*.
- Raun, N.S. (1976). Beef and cattle production practices in lowland American tropics. *Animal Review*, 19: 18-21.

- Rémond, B. e Vermorel, M. (1982). Influence du climat et de la saison sur la production laitière au pâturage. In *Actions du climat sur l'animal au pâturage*. INRA Editions. Paris, France. pp. 115-129.
- Rivera, R.M. e Hansen, P.J. (2001). Development of culture bovine embryos after exposure to high temperatures in the physiological range. *Journal of Reproduction & Fertility*, 121: 107-115.
- Robertshaw, D. (1981). The environmental physiology of animal production. In: *Environmental Aspects of Housing for Animal Production*. Editado por Clark, J.A. Butterworth. London. pp. 3-17.
- Robinson, N.E. (1999). Termorregulação. In: *Tratado de Fisiologia Veterinária (3ª edição)*. Editado por J.G. Cunningham. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. pp. 550-561.
- Rodbard, D. (1974). Statistical quality control and routine data processing for radioimmunoassay and immunoradiometric assays. *Clinical Chemistry*, 20: 1255-1270.
- Rodriguez, L.R., Mekonnen, G.; Wilcox, C.J.; Martin, F.G. e Krienke, W.A. (1985). Effect of relative humidity, maximum and minimum temperature, pregnancy and stage of lactation on milk composition and yield. *Journal of Dairy Science*, 68: 973-978.
- Roman-Ponce, H.; Thatcher, W.W. e Wilcox, C.J. (1981). Hormonal interrelationships and physiological responses of lactating dairy cows to a shade management system in a subtropical environment. *Theriogenology*, 16: 139-154.
- Roman-Ponce, H.; Thatcher, W.W.; Buffington, D.E.; Wilcox, C.J. e Van Horn, H.H. (1977). Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *Journal of Dairy Science*, 60: 424-430.
- Roman-Ponce, H.; Thatcher, W.W.; Canton, D.; Barron, D.H. e Wilcox, C.J. (1978). Thermal stress effects on uterine blood flow in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 46: 175-80.
- Rosenberg, L.J.; Biad, B.L. e Verns, S.B. (1983). Human and animal biometeorology. In: *Microclimate – the biological environment (2ª edição)*. Wiley-Interscience. New York. pp. 425-67.
- Rosenberger, M.; Folman, Y.; Herz, Z.; Flamenbaum, I.; Berman, A. e Kaim, M. (1982). Effect of climatic conditions on peripheral concentrations of LH, progesterone and oestradiol-17 $\beta$  in high milk-yielding cows. *Journal of Reproduction & Fertility*, 66: 139-146.
- Roth, Z.; Meidan, R.; Braw-Tal, R. e Wolfenson, D. (2000). Immediate and delayed effect of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *Journal of Reproduction and Fertility*, 120: 83-90.
- Rudson, S.; Mullord, M.; Whittlestone, W.G. e Payne, E. (1975). Diurnal variations in blood cortisol in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 58: 30-36.
- Satterlee, D.; Roussel, J.D.; Gomila, L.F. e Segura, E.T. (1977). Effect of exogenous corticotrophin and climatic conditions on bovine adrenal cortical function. *Journal of Dairy Science*, 60: 1612-1616.

- Setchell, B.P.; Maddocks, S. e Brooks, D.E. (1994). Anatomy, vasculature, innervation and fluids of the male reproductive tract. In: *The Physiology of Reproduction* (2ª edição). Editado por E. Knobil e J.D. Neill. Raven Press. New York. pp. 1063-1175.
- Sharma, A.K.; Rodriguez, L.A.; Mekonnen, G.; Bachman, K.C. e Collier, R.J. (1983). Climatological and genetic effects on milk composition and yield. *Journal of Dairy Science*, 66: 119-126.
- Shearer, J. e Beede, D.K. (1990). Heat stress, part 1: Thermoregulation and physiological responses of dairy cattle in hot weather. *Agri-Practice*, 11 (4): 5-17.
- Shearer, J. e Beede, D.K. (1991). Heat stress, part 4: Nutritional management of dairy cattle during hot weather. *Agri-Practice*, 12 (5): 5-13.
- Shearer, J.K.; Beede, D.K.; Bucklin, R.A. e Bray, D.R. (1991). Heat stress, part 3. Environmental modifications to reduce heat stress in dairy cattle. *Agri-Practice*, 11 (4): 5-17.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67: 1-18.
- Silanikove, N.; Maltz, E.; Halevi, A. e Shinder, D. (1997). Metabolism of water, sodium, potassium and chlorine by high yielding dairy cows at the onset of lactation. *Journal of Dairy Science*, 80: 949-956.
- Silva, R.J. (2000). *Introdução à bioclimatologia animal*. Nobel. São Paulo.
- Skinner J.D. e Louw G.N. (1966). Heat stress and spermatogenesis in *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Applied Physiology*, 21: 1784-1790.
- Smith J.F.; Brouk, M.J. e Harner, III J.P. (2002). Managing Heat Stress in Dairy Facilities. Department of Animal Sciences and Industry and Department of Biological and Agricultural Engineering, Kansas State University, Manhattan. In: *The American Association of Bovine Practitioners (AABP) Proceedings*, 35.
- Souto, L.F. (2006). *Balço energético de vacas leiteiras em pastoreio no Açores*. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Spicer, L.J.; Alonso, J. e Chamberlain, C.S. (2001). Effects of thyroid hormones on bovine granulosa and thecal cell function in vitro: dependence on insulin and gonadotropins. *Journal of Dairy Science*, 84: 1069-1076.
- Stanley, R.W.; Olbrich, S.E.; Martz, F.A.; Johnson, H.D. e Hilderbranc, E.S. (1975). Effect of roughage level and ambient temperature on milk production, milk composition and ruminal volatile fatty acids. *Journal of Tropical Agriculture*, 52: 213 (Abstract).
- Tapki, I. e Şahin, A. (2006). Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. *Applied Animal Behaviour Science*, 99: 1-11.
- The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences, IUPS Thermal Commission (2003). Glossary of terms for thermal physiology. *Journal of Thermal Biology*, 28: 75-106.

- Thompson, R.D.; Johnston, J.E.; Breidenstein, C.P.; Guidry, A.J.; Banerjee, M.R. e Burnett, W.T. (1963). Effect of heat conditions on adrenal cortical, thyroid and other metabolic responses of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 46: 227-231.
- Tom, E.C. (1958). Cooling degree-days. *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, 55(7): 65-72.
- Valtorta, S. e Gallardo, M. (2004). Evaporative cooling for Holstein dairy cows under grazing conditions. *International Journal of Biometeorology*, 48: 213-217.
- Valtorta, S.E.; Gallardo, M.R.; Castro, H.C. e Castelli, M.E. (1996). Artificial shade and supplementation effects on grazing dairy cows in Argentina. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 39: 233-336.
- Van Heerden, S. (1963). Livestock infertility. Aspects of tropical and subtropical infertility in livestock. *Animal Health Branch, Monograph, No 5*. FAO. Rome.
- Vanjonack, W.J. e Johnson, H.D. (1975). Effects of moderate heat and yield on plasma thyroxine in cattle. *Journal of Dairy Science*, 58: 507-516.
- Vasconcelos, J.L.M.; Silcox, R.W.; Lacerda, J.A.; Pursley, G.R. e Wiltbank, M.C. (1998). Pregnancy rate, pregnancy loss, and response to heat stress after AI at 2 different times from ovulation in dairy cows. *Biology of Reproduction*, 56 (Suppl. 1): 140 (abstract).
- Warren, W.P.; Martz, F.A.; Asay, K.H.; Hilderbrand, E.S.; Payne, C.G. e Vogt, J.R. (1974). Digestibility and rate of passage by steers fed tall rescue, alfalfa and orchardgrass in 18 and 32 °C ambient temperature. *Journal of Animal Science*, 39: 93-96.
- Webster, A.J.F. (1976). Effects of cold on energy metabolism of sheep. In *Progress in Biometeorology*. Editado por S.W. Tromp, Swets e Zeitlinger. Amesterdam. pp. 218-226.
- West, J.W. (2003). Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 86: 2131-2144.
- Willet, L.B. e Erb, R.E. (1972). Short-term changes in plasma corticoids in dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 34: 103-109.
- Wilson S.J.; Marion, R.S.; Spain, J.N.; Spiers, D.E.; Keisler, D.H. e Lucy, M.C. (1998a). Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating Cows. *Journal of Dairy Science*, 81: 2124-2131.
- Wilson, S.J.; Kirby, C.J.; Koenigsfield, A.T.; Keisler, D.H. e Lucy, M.C. (1998b). Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers. *Journal of Dairy Science*, 81: 2132-2138.
- Wolfenson, D.; Flamenbaum, I. e Berman, A. (1988). Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 71: 809-818.
- Wolfenson, D.; Lew, B.J.; Thatcher, W.W.; Graber, Y. e Meidan, R. (1997). Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows. *Animal Reproduction Science*, 47: 9-19.

Wolfenson, D.; Thatcher, W.W.; Badinga, L.; Savio, J.D.; Meidan, R.; Lew, B.J.; Braw-Tal, R. e Berman, A. (1995). The Effect of heat *stress* on follicular development during the estrous cycle in lactating dairy cattle. *Biology of Reproduction*, 52: 1106-1113.

Younas, M.; Fuquay, J.W.; Smith, A.E. e Moore, A.B. (1993). Estrus and endocrine responses of lactating Holsteins to forced ventilation during summer. *Journal of Dairy Science*, 76: 430-4.

Yousef, M.K. (1985). *Stress physiology in livestock*. Boca Raton. Florida.