

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**ADAPTAÇÃO AO AMBIENTE GEOFÍSICO MEDITERRÂNICO DE BOVINOS
NATIVOS E EXÓTICOS - TOLERÂNCIA AO CALOR**

Alfredo Manuel Franco Pereira

**Dissertação apresentada para a obtenção
do grau de Doutor em Ciências Agrárias**

**Orientador: José Antunes Afonso de Almeida (Prof. Catedrático da Universidade de Évora)
Co-Orientador: Flávio Baccari Jr. (Prof. Titular da Universidade Estadual de Londrina)**

Esta tese não inclui as críticas e as sugestões feitas pelo júri

Évora, 2004

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**ADAPTAÇÃO AO AMBIENTE GEOFÍSICO MEDITERRÂNICO DE BOVINOS
NATIVOS E EXÓTICOS - TOLERÂNCIA AO CALOR**

Alfredo Manuel Franco Pereira

Dissertação apresentada para a obtenção
do grau de Doutor em Ciências Agrárias



149 300

Orientador: José Antunes Afonso de Almeida (Prof. Catedrático da Universidade de Évora)

Co-Orientador: Flávio Baccari Jr. (Prof. Titular da Universidade Estadual de Londrina)

Esta tese não inclui as críticas e as sugestões feitas pelo júri

Évora, 2004

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**ADAPTAÇÃO AO AMBIENTE GEOFÍSICO MEDITERRÂNICO DE BOVINOS
NATIVOS E EXÓTICOS - TOLERÂNCIA AO CALOR**

Alfredo Manuel Franco Pereira

Dissertação apresentada para a obtenção
do grau de Doutor em Ciências Agrárias

Orientador: José Antunes Afonso de Almeida (Prof. Catedrático da Universidade de Évora)

Co-Orientador: Flávio Baccari Jr. (Prof. Titular da Universidade Estadual de Londrina)

Esta tese não inclui as críticas e as sugestões feitas pelo júri

Évora 2004

ÍNDICE

Índice.....	i
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Abreviaturas.....	vii
Agradecimentos	ix
1. Introdução Geral	1
2. Estudo Bibliográfico	7
3. Estudo comparativo das reacções fisiológicas e dos níveis de aclimação perante períodos alternados em termoneutralidade e sob condições de temperatura elevada	23
3.1. Introdução - Enquadramento bibliográfico.....	23
3.2. Materiais e Métodos	33
3.2.1. Câmaras Climáticas - Características e Funcionamento	33
3.2.2. Animais.....	33
3.2.3. Esquema experimental.....	34
3.2.4. Alimentação.....	35
3.2.5. Medições e colheitas de amostras.....	35
3.2.6. Amostras sanguíneas.....	36
3.2.7. Análises estatísticas	36
3.3. Resultados e Discussão	38
3.3.1. Condições experimentais	38
3.3.2. Frequência Respiratória e Temperatura Rectal	41
3.3.3. Ingestões de alimento e de água	50
3.3.4. Parâmetros sanguíneos.....	56
4. Estudo comparativo da intensidade de utilização das vias de termólise latente e respectiva eficácia face a aumentos da temperatura do ar em câmara climática	65
4.1. Introdução - Enquadramento bibliográfico.....	65
4.2. Materiais e Métodos	75
4.2.1. Animais.....	75
4.2.2. Esquema experimental.....	75
4.2.3. Alimentação.....	76
4.2.4. Medições nos Animais	76
4.2.4.1. Taxa de sudação	77
4.2.5. Análises Estatísticas	78
4.3. Resultados e Discussão	79
4.3.1. Condições Experimentais	79
4.3.2. Temperaturas da pele, da pelagem e rectal	80
4.3.3. Ingestão de água	87
4.3.4. Vias de termólise latente - frequência respiratória e taxa de sudação	87

5. Estudo comparativo das reacções fisiológicas, da intensidade de funcionamento das vias termólíticas e da condutância sob a influência da radiação solar	107
5.1. Introdução - Enquadramento bibliográfico	107
5.2. Concepção e organização geral da experiência.....	118
5.3. Experiência A.....	119
5.3.1. Materiais e Métodos	119
5.3.1.1. Esquema experimental	119
5.3.1.2. Medições nos Animais.....	119
5.3.2. Análises Estatísticas	121
5.3.3. Resultados e Discussão.....	122
5.3.3.1. Condições Experimentais.....	122
5.3.3.2. Influência da radiação nas variáveis fisiológicas.....	124
5.3.3.3. Influência da radiação nas vias de termólise evaporativa	135
5.4. Experiência B.....	141
5.4.1. Materiais e Métodos	141
5.4.1.1. Esquema experimental	141
5.4.1.2. Medições nos animais	141
5.4.2. Análises Estatísticas	142
5.4.3. Resultados e discussão	143
5.4.3.1. Condições Experimentais.....	143
5.4.3.2. Fluxos de calor e isolamentos tissular e externo	144
5.5. Experiência C.....	151
5.5.1. Materiais e Métodos	151
5.5.2. Análises estatísticas	151
5.5.3. Resultados e discussão	152
5.5.3.1. Condições Experimentais.....	152
5.5.3.2. Efeitos da alternância entre sol e sombra na temperatura rectal.....	152
6. Discussão Geral	159
7. Bibliografia.....	165

RESUMO

O presente estudo apresentou como objectivo nuclear a quantificação da tolerância ao calor em raças de bovinos nativas (Alentejana e Mertolenga) e exóticas (Frísia e Limousine). A hipótese de trabalho assentou no pressuposto de que as diferenças anátomo-fisiológicas entre os vários genótipos se poderiam repercutir na tolerância ao calor, identificando se essas eventuais vantagens comparativas estavam associadas à menor termogénese, à maior termólise ou a ambas.

Foram delineadas três experiências, as duas primeiras em câmara climática e a última no campo. A primeira experiência visou a identificação, das reacções fisiológicas e de aclimatação em períodos alternados em termoneutralidade e sob temperaturas elevadas. A segunda experiência visou quantificar as variações das vias de termólise evaporativa perante níveis crescentes de temperatura do ar. A terceira experiência visou avaliar as variações das variáveis fisiológicas, da termólise evaporativa, do balanço térmico e da condutância face à radiação solar directa.

Na raça Frísia foi notório, em todas as experiências, uma maior dificuldade em manter a estabilidade da temperatura rectal. A menor capacidade de resposta da sudação, evidenciado pela sua estabilização precoce face a crescentes armazenamentos de calor, parece ter sido um dos factores determinantes na menor termólise. A intensa polipneia térmica registada nas situações de stresse térmico não foi suficiente para evitar balanços térmicos bastante desfavoráveis. Por outro lado, a pelagem mais espessa e composta por pêlos mais longos e finos determinou níveis de condutância relativamente baixos o que dificultou a termólise por via sensível.

As raças Limousine e Alentejana apresentaram reacções muito similares, embora a raça Limousine tenha apresentado uma maior dificuldade em manter a estabilidade da temperatura rectal. Sob temperaturas elevadas a raça Limousine exibiu reacções expressivas de stresse térmico com consequências na redução da ingestão de alimento e na diminuição das hormonas da tiróide, situação algo semelhante à que ocorreu com a raça Alentejana embora com menor intensidade. Na raça Limousine constatou-se uma reduzida capacidade de resposta da taxa de sudação perante o aumento da temperatura rectal, bem como moderados aumentos da frequência respiratória. Na raça Alentejana, pelo contrário, verificou-se uma maior capacidade na manutenção da temperatura rectal, em boa parte devido às elevadas taxas de sudação apresentadas, cujos aumentos precoces e intensos sugerem uma grande importância na manutenção da homeotermia. As elevadas taxas de sudação registadas sob a influência da radiação solar directa (que podem ser considerados bastante elevados para uma raça *Bos taurus*) contribuíram bastante para atenuar os efeitos adversos de uma pelagem com baixo coeficiente de reflexão.

A raça Mertolenga foi aquela que apresentou uma maior velocidade de dissipação de calor, devido à maior condutância e à eficiência das vias de termólise evaporativa (tanto a polipneia térmica como a sudação). A pelagem menos espessa, mais lisa e mais reflectora parece ter determinado uma menor aquisição de calor, o que também contribuiu para balanços térmicos mais favoráveis.

Os resultados registados permitiram concluir que a raça Frísia exibiu a menor tolerância ao calor, as raças Limousine e Alentejana exibiram tolerâncias crescentes e a raça Mertolenga exibiu uma tolerância ao calor inequivocamente superior.

ABSTRACT

The main objective of the present study was to assess the heat tolerance of native (Alentejana and Mertolenga) and exotic (Frisian and Limousine) cattle breeds. It was assumed, as underlying hypothesis, that the anatomical and physiological differences between the considered genotypes could determine different levels of heat tolerance, and that eventual comparative advantages of some breeds should be linked to a lower level of thermogenesis, or to a higher level of heat loss or both.

Three experiments were designed: two inside climatic test chambers and one in open field. The purpose of the first experiment was to identify the physiological acclimatization reactions in climatic situations characterized by alternate periods of thermoneutrality and high temperatures. The purpose of the second experiment was to quantify the variations in the intensity of the evaporative heat loss pathways facing up increasing air temperature levels. The third experiment aimed to quantify, under direct solar radiation, the physiological responses involved in the evaporative heat loss and heat balance.

The Frisian breed had, in all the experiments, a higher difficulty in keeping the rectal temperature stable. Its lower sweating capacity was clear as evidenced by an early stabilisation of the level of sweating, in spite of the increasing heat storage, and seems to be one of the main determinant of the smaller heat loss capacity. The intense thermal polypnea observed in situations of thermal stress was not enough to avoid quite unfavourable heat balances. On the other hand, its thicker hair coat, made up of longer and thinner hair, determined relatively low conductance levels, rendering difficult the sensible heat loss.

The Limousine and Alentejana breeds presented very similar reactions. However, the Limousine had more difficulty in keeping the rectal temperature stable. Under high temperatures, the Limousine breed presented expressive thermal stress reactions, involving a reduction of the voluntary food intake and a decrease in the thyroid hormone levels. The same type of reactions was observed in the Alentejana breed, although with lower intensity. Limousine breed exhibit a low sweating capacity and only a moderate increase in the respiratory frequency, which were insufficient to avoid an increase in the rectal temperature. Conversely, the Alentejana breed had a higher capacity to keep constant the rectal temperature, due to a higher sweat rate. In this breed, the early and intense increase observed in the sweating rate justifies its great importance in preserving homeothermy. The high sweat rates registered under the influence of direct solar radiation (which can be considered rather high for a *Bos taurus* breed) greatly contributed to mitigate the adverse effects of the hair in this breed, which is characterized by a low reflection coefficient.

The Mertolenga breed presented the highest heat dissipation rate, due to a higher level of conductance and to the efficiency of its evaporative heat loss pathways (thermal polypnea and sweating rates). On the other hand, its thickener, smoother and more reflective hair coat seemed to have contributed for a lower heat acquisition, ending in a more favourable thermal balance under heat stress.

The observed results allowed the conclusion that the Frisian breed presents the lower heat tolerance, the Limousine and Alentejana have an intermediary one, presenting the Mertolenga breed, by far, the highest heat tolerance.

ABREVIATURAS

- b_{oc} - balanço de radiação unitário de ondas curtas
 b_{rad} - balanço de radiação unitário
 C_{arm} - Calor armazenado
 C_{rt} - Cortisol
 G_d - Radiação solar directa
 h_g - coeficiente de condutividade global
HR - Humididade relativa
 H_{tc} - Hematócrito
 I_{ag} - Ingestão de água
 $I_{ag}Pv^{0,75}$ - Ingestão de água por peso vivo metabólico
 I_{alm} - Ingestão de alimento
 $I_{alm}Pv^{0,75}$ - Ingestão de alimento por peso vivo metabólico
 I_{ext} - Isolamento externo
 I_{tiss} - Isolamento tissular
N1 - Nível 1 de temperatura (capítulo 4)
N2 - Nível 2 de temperatura (capítulo 4)
N3 - Nível 3 de temperatura (capítulo 4)
N4 - Nível 4 de temperatura (capítulo 4)
 R_{rec} - Radiação teórica recebida pelos animais
Sig. - Significância
ST - Fase de temperaturas elevadas (capítulo 3)
 T_3 - Triiodotironina
 T_4 - Tiroxina
Tar - Temperatura do ar
 T_{ci} - Temperatura crítica inferior
 T_{cs} - Temperatura crítica superior
 T_{gn} - Temperatura do globo Negro
THI - Índice de temperatura e humidade
TN1 - 1^a fase de termoneutralidade (capítulo 3)
TN2 - 2^a fase de termoneutralidade (capítulo 3)
 T_{pg} - Temperatura da pelagem
 T_{pl} - Temperatura da pele
 T_{sd} - Taxa de sudação
 T_{sdpm} - Taxa de sudação total por peso vivo metabólico

AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado resultou do somatório de variadas contribuições. Pelos conhecimentos transmitidos, pelas ajudas usufruídas ou pela boa disposição e companheirismo, aqui expresso o meu enorme reconhecimento.

Ao Prof. Afonso de Almeida gostaria de expressar a minha gratidão por ter aceite a orientação deste trabalho, pela amizade de longos anos, pela superior capacidade de orientação com críticas justas e sugestões perspicazes.

Ao Prof. Flávio Baccari Jr. quero expressar a minha gratidão, por ter aceite co-orientar este trabalho, por me ter revelado uma dimensão holística da bioclimatologia e pela amizade cimentada ao longo dos anos.

Ao Prof. Figueiredo Nunes, minha grande referência na área da Zootecnia Tropical, pelas sugestões preciosas e pelos conselhos sempre ajustados e clarividentes e principalmente pela amizade de longos anos.

Ao Prof. Evaldo Titto, por me ter recebido no Laboratório de Biometeorologia da FZEA e me ter permitido aprender muito daquilo que utilizei neste trabalho, e ainda pela amizade sedimentada ao longo dos anos.

Ao Prof. Carlos Roquete, pelas sugestões para as metodologias de análise estatística, pelas inúmeras discussões acerca da bovinicultura que muito me têm enriquecido e ainda pela amizade de longos anos.

Ao Prof. Mário de Carvalho pela disponibilidade para a discussão de metodologias de análise estatística e principalmente pela grande amizade.

Ao Prof. Roberto Gomes da Silva pela disponibilidade demonstrada na discussão de algumas das questões mais polémicas e pela amizade.

Ao Alexandre à Olga e à Inês, um agradecimento especial ao triunvirato que me acompanhou ao longo do trabalho e sem os quais seria impossível cumprir os objectivos propostos. Pelo inexcedível empenho e competência nos trabalhos realizados, pela amizade e companheirismo mesmo nas horas menos boas.

Ao Engº António Samora, amigo de longa data, a minha gratidão pela generosa cedência dos animais da raça Limousine, com o quais o trabalho foi enriquecido.

À Estação Zootécnica Nacional e ao seu Departamento de Bovinicultura, nas pessoas do Prof. Vaz Portugal, Prof. Mira e Engº Caldeira, pela terem possibilitado a utilização das câmaras climáticas da EZN e por toda a logística envolvida nos períodos experimentais.

À Prof. Aura Colaço e à Drª Maria João Carneiro da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pela disponibilidade e competência na realização das análises laboratoriais.

À Profª Ana Maria Silva pela disponibilidade demonstrada na discussão das minhas muitas dúvidas metodológicas de biofísica e pelas soluções sugeridas que ajudaram a ultrapassar constrangimentos vários.

Ao Dr. Paulo Canhoto pela inestimável e valiosa disponibilidade para a resolução de alguns problemas relacionados com os equipamentos para a medição dos fluxos de calor.

Ao Vasco da Câmara Pereira, amigo de longa data, pela competência e capacidade de trabalho e pelo bom humor com que sempre pautou o nosso relacionamento.

Ao Joaquim Valério pelo inestimável contributo e elevada competência na concepção e construção dos equipamentos que permitiram realizar as medições nos animais, tanto nas câmaras como no campo.

À Tita e à Zuka, apesar da inveja que sentia quando as via dormir enquanto trabalhava, foram presenças essenciais para a manutenção do meu bom humor, pela “entropia” saudável que criaram sempre de forma alegre e divertida.

Aos meus amigos que me foram aturando e apoianto ao longo desta longa saga

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Este trabalho inseriu-se no ProjectoPraxis XXI/2003:

*Biotelemetria da Fisiologia Adaptativa e Comportamental de Bovinos Autóctones e Exóticos
ao Ambiente Geofísico Mediterrânico*

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os modelos de exploração dos animais domésticos alicerçam-se em três pilares essenciais: a eficiência bio-económica, a auto-sustentação e o bem-estar animal. O cumprimento pleno destas vertentes deve pressupor um zoneamento agro-ecológico e bioclimático. Uma melhor adequação dos animais às características do meio envolvente, possibilita uma maior versatilidade na organização dos sistemas de produção, mantendo a rendibilidade do espaço físico através de maior eficiência bio-económica e com um mínimo de stresse para as populações.

Uma melhor compreensão da fisiologia e do comportamento das espécies e das raças utilizadas, é portanto essencial para permitir uma planificação adequada dos sistemas de produção.

Desajustamentos entre a organização dos sistemas de produção e os animais que os integram têm sido largamente descritos ao longo dos anos, principalmente nas regiões tropicais. Na verdade, devido a fenómenos de aclimatação, os animais tendem a apresentar baixas produtividades, bastante aquém do seu potencial genético.

Em clima mediterrânico, a marcada sazonalidade climática conduz a condições potencialmente desfavoráveis, tanto do ponto de vista térmico como alimentar. Dessa forma, importa compreender as implicações da sazonalidade na fisiologia adaptativa dos vários genótipos, visando atingir um melhor equilíbrio entre os níveis de intensificação produtiva dos sistemas de produção e as raças presentes.

Na exploração de bovinos em regimes extensivos a concepção dos sistemas de produção é muito variável. Enquanto que uns apresentam um apreciável grau de sofisticação e de intensificação, outros exibem características eminentemente extrativistas. Esta disparidade conduz à ideia de que, em alguns casos, a adequação das raças utilizadas às condições de exploração poderá não ser a mais favorável.

O incentivo à utilização das raças nativas no nosso país tem estimulado à prossecução de diversos estudos acerca da sua produtividade. Os argumentos a favor da sua escolha baseiam-se na maior adaptabilidade ao local de origem, utilizadas numa óptica de valorização dos recursos naturais, com um mínimo de agressão ambiental. Existe por isso alguma informação relevante acerca do potencial produtivo e das características do crescimento destes genótipos. No entanto, são inexistentes estudos que relacionem estes animais nativos com o ambiente geofísico, nomeadamente as particularidades da sua fisiologia adaptativa. Esta ausência de elementos credíveis, tende a dificultar a escolha das raças mais adequadas e principalmente a limitar as respectivas opções produtivas e de manejo.

Entre as raças nativas, os padrões dos comportamentos estacionais e circadianos sugerem que as características adaptativas podem ser distintas. Nos anos em que as condições alimentares e/ou climáticas são mais severas, as repercussões negativas nas produtividades diferem bastante entre os animais das raças nativas.

A ideia de que a base da planificação de um sistema de produção se deve alicerçar na adequação dos animais ao ambiente geofísico, serviu de ponto de partida para os raciocínios que conduziram às hipóteses de trabalho desenvolvidas nesta dissertação.

Considerou-se então que, numa perspectiva abrangente, a questão de base seria a tolerância ambiental e que uma melhor gestão da termorregulação poderia originar vantagens competitivas para fazer face às assimetrias da sazonalidade climática. A bibliografia referente aos aspectos bioclimáticos na zootecnia, inclusivamente em clima mediterrânico, enfatiza a tolerância ao calor como o factor mais

limitativo.

A abordagem pessoal, que determinou a estruturação da dissertação, baseou-se nas seguintes considerações basilares: atendendo às diferenças exibidas entre as raças de bovinos homólogos *Bos taurus*, nativos e exóticos, é expectável que estes apresentem efectores de termorregulação funcionalmente semelhantes, embora possam, eventualmente, existir particularidades inerentes a cada genótipo, que determinem limiares e intensidades de utilização diferentes.

A complexidade do ambiente térmico a que os animais podem estar sujeitos permite supor interacções distintas com as respectivas características anátomo-fisiológicas. Na verdade, um mesmo problema pode suscitar resoluções diferentes consoante as características de cada genótipo e os limites de cada indivíduo. Então, as velocidades e os sentidos com que os fluxos de calor interagem com os animais podem apresentar diferenças estacionais e circadianas, a que corresponderão níveis distintos de desconforto que por sua vez desencadearão respostas diferenciadas.

A inclusão no estudo das raças nativas Alentejana e Mertolenga deveu-se à sua ampla difusão nos sistemas de produção extensivos, sendo consideradas raças adaptadas às condições prevalecentes do sul de Portugal. A raça exótica Limousine foi escolhida devido à sua crescente utilização nos sistemas de produção, tanto em raça pura, como em cruzamentos com raças nativas. É considerada uma raça com clara aptidão para a produção de carne, apresentando elevada velocidade de crescimento. Por fim, a raça Frísia foi incluída por ter sido amplamente estudada, sendo unanimemente considerada como pouco tolerante ao calor. Desta forma, devido à ausência de estudos com estas raças nativas, a raça Frísia serve de referência comparativa e de base para o escalonamento dos restantes genótipos.

Baseado nesta lógica, a hipótese de trabalho assenta no pressuposto de que as diferenças anatomo-fisiológicas entre os vários genótipos se poderiam repercutir na tolerância ao calor. Por outro lado, importa também compreender se as eventuais vantagens competitivas de um qualquer genótipo estão associadas ao menor calor adquirido, ao maior calor dissipado ou a ambos.

Esta dissertação pretende contribuir para uma melhor compreensão do funcionamento dos efectores termorreguladores das várias raças, nomeadamente a intensidade com que interagem com o aumento das temperaturas ambiente e sua eficácia na manutenção da homeotermia.

A filosofia subjacente à planificação das várias experiências valorizou as interacções dinâmicas entre as variáveis dependentes, integrando o factor tempo como essencial para as comparações raciais. Esta forma de abordar a tolerância ao calor encerra vários desafios; passam a ser menos importante as reacções instantâneas exibidas pelos animais, valorizando mais a perspectiva temporal e as modificações daí decorrentes, em que cada animal é testemunha de si próprio. Com efeito, introduzindo uma dimensão temporal na avaliação das reacções, pretendeu-se valorizar a capacidade de reajustamento dos animais e não apenas a constatação do seu desconforto face aos factores de perturbação. Um animal mais adaptado a um determinado estímulo negativo não deve ser visto como aquele cuja intensidade de reacção é manifestamente mais baixa, mas aquele que apresenta uma plasticidade fisiológica que o capacita a ultrapassar com êxito as condições mais desfavoráveis.

A dissertação está dividida em duas partes. Na primeira, faz-se uma breve revisão da relações térmicas entre o animal e o ambiente envolvente. Procura-se assim fornecer uma perspectiva geral dos princípios físicos subjacentes às permutas de calor que regem as interacções que se estabelecem entre as variáveis ambientais e as respostas do animal, que estão na génese da dissertação. Na segunda parte, desenvolve-se o trabalho experimental que está dividido em quatro capítulos. Os primeiros três capítulos

INTRODUÇÃO GERAL

referem-se às experiências efectuadas. Cada experiência é precedida de um breve estudo bibliográfico, onde são focadas as questões específicas abordadas em cada experiência. No último capítulo, pretende-se a integração dos resultados obtidos em cada experiência, salientando as principais ilações, os aspectos mais limitantes do estudo e as questões que permaneceram sem resposta e que requerem novos estudos e novas abordagens.

ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

The living body is stable. By an apparent contradiction, it maintains its stability only if it is excitable and capable of modifying itself according to external stimuli, and adjusting its response to the stimulation. In a sense it is stable because it is modifiable. The slight instability is the necessary condition for the true stability of the organism.

Richter, 1890

2. ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

PERMUTA DE CALOR ENTRE O ANIMAL E O AMBIENTE - ABORDAGEM TERMODINÂMICA

Para uma melhor compreensão das relações entre os animais e o ambiente envolvente é necessário o conhecimento do balanço energético dentro do ecossistema. A energia que flui nos seres vivos provém de fontes alimentares, da radiação solar e do calor emitido pelas superfícies de objectos e corpos circunvizinhos.

Vários factores se combinam para criar microclimas específicos. Um microclima determina em larga medida um nicho ecológico habitado por determinados tipos de animais e de plantas. O ambiente onde os animais vivem (quente, frio, húmido, árido, ou algures entre eles) determina, em maior ou menor escala, respostas fisiológicas e comportamentais. Alguns ambientes pouco perturbam a fisiologia dos animais, enquanto outros podem ser tão severos que a própria sobrevivência pode estar dependente de uma elevada capacidade de adaptação.

O somatório do calor metabólico e do calor adquirido do ambiente pressupõe a existência de fluxos de calor suficientemente variáveis, que requerem mecanismos de controle rápidos e eficientes com vista à manutenção do equilíbrio térmico. A taxa de produção de calor metabólico é muito variável, tanto ao longo do dia como ao longo do ano, o que determina só por si uma versatilidade funcional das vias de termólise. Apesar disso, a necessidade de dissipação de calor pelo animal dependerá fundamentalmente das suas interacções com as diversas variáveis climáticas designadamente, temperatura do ar, radiação solar, humidade, chuva e vento (Schmidt-Nielsen, 1997).

A compreensão da fisiologia da termorregulação deve basear-se num conhecimento prévio dos processos físicos associados às transferências de calor. A permuta de calor entre o animal e o ambiente realiza-se de diferentes formas, as quais se podem associar em dois grandes grupos. A permuta de calor sensível que se realiza sob a forma de radiação, condução e convecção, e a permuta de calor latente que se processa através da vaporização da água.

O modo como se fraciona a radiação solar que atinge o globo terrestre depende da latitude e de variáveis atmosféricas que condicionam a quantidade do fluxo energético que atinge a crosta terrestre. A Fig. 2.1. permite ilustrar de forma esquemática o fraccionamento da radiação solar e os factores envolvidos no processo.

A permuta de calor por radiação assenta na transferência de energia térmica entre os corpos através de ondas electromagnéticas. A quantidade de radiação emitida depende da natureza do material, da sua constituição física, da temperatura absoluta e da superfície emissora. Qualquer superfície com temperatura superior a 0ºK ou -233,15ºC emite radiação térmica num dado comprimento de onda, o qual está por sua vez dependente da sua temperatura absoluta (Monteith e Unsworth, 1990).

A classificação da energia radiante é elaborada com base no comprimento de onda. Para efeitos da fisioclimatologia animal assumem especial importância as radiações ultravioleta (com comprimento de onda de $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ a $3,9 \times 10^{-3} \mu\text{m}$), visível, (de $3,9 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ a $7,8 \times 10^{-3} \mu\text{m}$) e infravermelha (de $7,8 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ a $10^2 \mu\text{m}$). Em condições normais, todos os corpos presentes no meio terrestre apresentam temperaturas abaixo de 300ºK e por isso são emissores de energia radiante de ondas longas, ou seja na faixa do infravermelho (Lowry e Lowry II, 1989; Monteith e Unsworth, 1990).

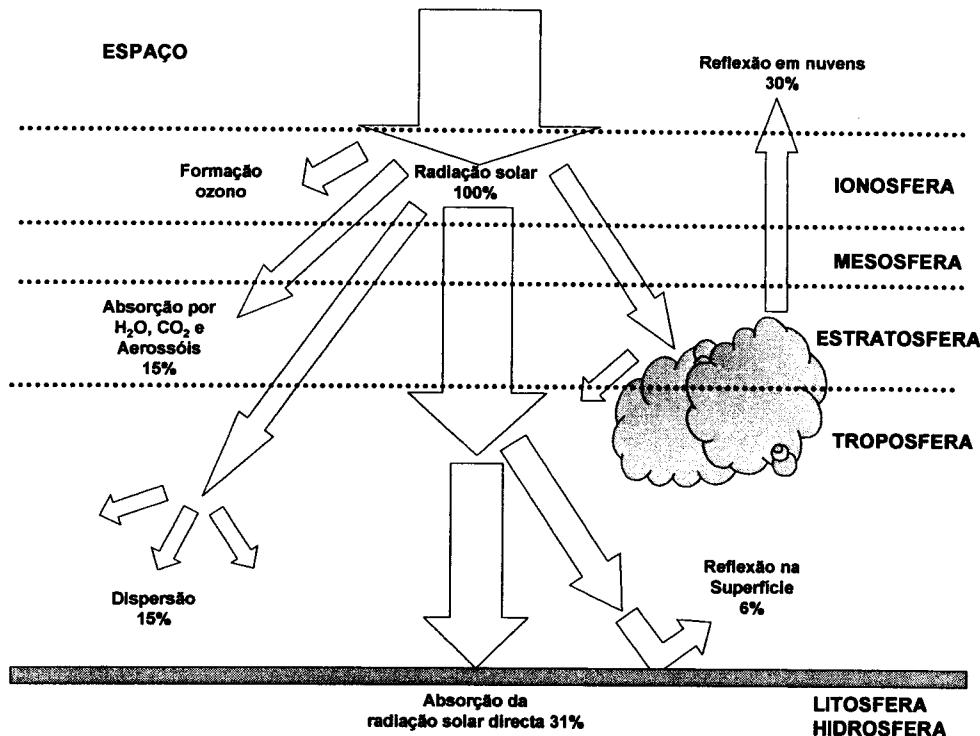


Fig. 2.1. - Incidência de radiação de ondas curtas na superfície terrestre (adaptado de Silva, 2000)

Quando as ondas electromagnéticas atingem uma superfície, parte da energia é reflectida, parte é absorvida e parte é transmitida através da massa subjacente à superfície. Portanto, qualquer superfície apresenta três propriedades quanto à transferência da energia térmica: reflectividade (ρ), absorvividade (α) e transmissividade (τ), cujo somatório é igual a 1 ($\rho + \alpha + \tau = 1$).

Para se descreverem as características das permutas de calor por radiação entre diferentes superfícies, é necessário atender a alguns conceitos básicos. Emurge assim o conceito de corpo negro, definido como sendo um corpo com uma superfície que absorve toda a radiação que nela incide, independentemente do comprimento de onda e que apresenta por isso $\alpha = \epsilon = 1$ e $\rho = 0$. Não existem corpos negros perfeitos, daí que as superfícies reais se comportem como “corpos cinzentos”. A implicação directa é que $\alpha < 1$ e por conseguinte $\rho > 0$. Resulta assim que tanto a absorvividade (α) como a emissividade (ϵ) são parâmetros que dependem do comprimento de onda da radiação. Dessa forma, a emissividade de uma dada superfície é a razão entre a potência emissiva do corpo cinzento e aquela do teórico corpo negro, obtida à mesma temperatura e num mesmo comprimento de onda (Lowry e Lowry II, 1989; Monteith e Unsworth, 1990).

A emissividade e a absorvividade estão relacionadas entre si. Segundo a lei de Kirschhoff, em igualdade de temperatura e para um determinado comprimento de onda, a emissividade de um corpo é igual à sua absorvividade. Consequentemente, qualquer superfície que apresente uma elevada capacidade de absorver energia térmica num determinado comprimento de onda apresentará igualmente uma grande capacidade de a emitir. A reflectividade apresentará o valor correspondente a $\rho = 1 - \alpha$.

Perante a radiação de ondas curtas, o comportamento dos materiais biológicos é determinado pela presença de pigmentos que absorvem a radiação a um dado comprimento de onda. No espectro de radiação de ondas longas, acima dos $3\mu\text{m}$, a maioria dos materiais comporta-se quase como

um corpo negro, com absorvividade próxima de 1. Importa no entanto distinguir entre a reflectividade de uma dada superfície $\rho_{(\lambda)}$, que consiste na fracção de radiação incidente que é reflectida num dado comprimento de onda, e o coeficiente de reflexão ou albedo, que é a média da reflectividade ao longo de uma faixa de comprimentos de onda.

A temperatura do corpo desempenha um papel fundamental na permuta de calor por radiação. Segundo a lei de Stefan-Boltzmann, a potência de radiação emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta:

$$E_b = \sigma T^4 \quad [W.m^{-2}]$$

sendo σ a constante de Stefan em que $\sigma=5,6697 \times 10^{-8} [W.m^{-2}.K^{-4}]$. A emissão de calor dos corpos varia bastante devido à proporcionalidade que se estabelece com a quarta potência da temperatura absoluta. O fluxo de calor por radiação aumenta cerca de 52% quando as temperaturas variam de 273°K ($= 0^\circ C$) para 303°K ($= 30^\circ C$).

Atendendo às diferenças entre um corpo negro e um corpo cinzento, a potência emissiva deste está dependente da sua própria emissividade a uma determinada temperatura, e pode ser calculada pela equação:

$$E_b = \varepsilon_\lambda \sigma T^4 \quad [W.m^{-2}]$$

Contudo a potência emissiva de uma superfície não depende apenas da sua temperatura mas também do comprimento de onda. Esta relação é enunciada pela Lei de Planck, traduzida na equação:

$$E_{[\lambda,T]} = a/\lambda^5 [\exp(b/\lambda \cdot T) - 1] \quad [W.m^{-2}.\mu m^{-4}] \text{ em que } a=3,74134 \times 10^8 \text{ e } b=14387,8.$$

A Lei de Wien (conciliando as Lei de Planck e de Stefan Boltzman) determina que a potência emissiva de uma dada superfície varia na razão directa da sua temperatura absoluta e na razão inversa do seu comprimento de onda (Lowry e Lowry II, 1989). O valor máximo da potência emissiva para um dado comprimento de onda é obtido pela equação:

$$\lambda_{\max} = 2897,8 \cdot T^{-1} \quad [\mu m]$$

Nos trópicos e nos desertos a energia térmica recebida pelos animais pode apresentar valores muito elevados, sendo por vezes o quíntuplo do calor produzido pelo metabolismo. O corpo do animal recebe radiação de curto e de longo comprimento de onda, provenientes da atmosfera, do solo e de outros objectos circundantes. Por isso, importa considerar a quantidade radiação solar recebida, reflectida e emitida por um corpo tridimensional que apresenta uma forma irregular.

Alguns conceitos e propriedades inerentes aos corpos apresentam grande relevância para quantificação do balanço da radiação. A irradiância (G) é a quantidade de radiação térmica incidente por unidade de área. Esta resulta também da emissão e reflexão provenientes de outras superfícies circunvizinhas, sendo também dependente do comprimento de onda:

$$G = \int_0^\infty G_\lambda d\lambda \quad [W.m^{-2}]$$

Contudo, como o animal também emite calor, a potência emissiva (E) que depende do comprimento de onda, reporta-se à quantidade de radiação térmica que a superfície do animal está a emitir num dado instante, por unidade de área e por unidade de tempo. Esta energia emitida, que não engloba a reflectida, é variável devido às diferentes temperaturas que os animais apresentam ao longo do corpo. Como a potência emissiva está associada ao comprimento de onda, para se obter o valor global da

radiação total emitida, há que considerar o somatório dos valores da radiação emitida pela superfície nos diferentes comprimentos de onda:

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda \quad [W.m^{-2}]$$

Quando se acrescenta a radiação reflectida aos valores da radiação emitida pelo animal, o valor global é designado por radiosidade (J): corresponde a toda a energia térmica que irradia de uma superfície, por unidade de área e de tempo (Rosenberg *et al.*, 1983; Lowry e Lowry II, 1989):

$$J = \int_0^{\infty} J_{\lambda} d\lambda \quad [W.m^{-2}]$$

A relação que se estabelece entre estas variáveis é definida pela equação:

$$J = E + \rho.G \text{ ou } J = E + (1 - \alpha).G$$

em que a radiosidade é a soma da potência emissiva com o produto da irradiância pela reflectividade da superfície (Silva, 2000).

O cálculo da radiação recebida por um corpo requer o conhecimento das características radiantes das superfícies envolvidas, do ângulo solar e da orientação do corpo face à direcção dos raios solares. Devido à irregularidade da superfície dos animais, esse cálculo torna-se mais fácil projectando o corpo do animal num plano perpendicular ao ângulo de incidência solar. Objectos como esferas e cilindros com geometrias simples são frequentemente usadas para representar formas mais irregulares de corpos de animais (Monteith e Unsworth, 1990). Stevens (1975), citado por Rosenberg *et al.* (1983), considerou que um quadrúpede poderia ser representado por um conjunto de sete cilindros. Todavia, a complexidade das interacções entre as formas geométricas e os fluxos de radiação teóricos, determinaram a necessidade de uma maior simplificação.

A projecção da sombra do animal pode assim ser traçada por formas geométricas mais simples. Monteith e Unsworth (1990) referem que os fluxos de radiação são geralmente medidos numa base horizontal (S_b) que serve de referencial ou então num plano perpendicular à direcção dos raios solares (S_p). Para um determinado corpo exposto à radiação solar cujo ângulo de elevação é β , a relação entre o fluxo médio da radiação recebido (\bar{S}_b) e o fluxo total da radiação (S_p) deriva da relação entre a área da sombra projectada na superfície horizontal (A_h) e a área projectada no plano normal (A_p), em que $A_p = A_h \operatorname{sen} \beta$. Logo, o fluxo de radiação interceptado pelo corpo pode ser estimado a partir da equação $A_p S_p = (A_h \operatorname{sen} \beta) S_p = A_h S_b$. Assim, sendo A a área do corpo, então o fluxo médio de radiação recebido por este pode ser estimado a partir da equação $\bar{S}_b = (A_h / A) S_b$ (Rosenberg *et al.*, 1983; Monteith e Unsworth, 1990). Monteith e Unsworth (1990) demonstraram que os quadrúpedes podiam ser representados por um cilindro horizontal, tendo como base as dimensões aproximadas dos animais. Apesar desta simplificação, é necessário que se estabeleça uma relação entre a forma geométrica resultante e as zonas iluminadas que se vão alterando ao longo do dia. Para isso, deve ser contemplada a sombra projectada pelo corpo teórico, que está dependente dos ângulos azimutal e de elevação. Considerando o ângulo azimutal θ medido a partir do eixo do cilindro, o ângulo de elevação β , o comprimento do cilindro h e o seu raio r , então a superfície de exposição é calculada por:

$$A_h = A_p \cdot \cos \operatorname{sec} \beta \Leftrightarrow 2rh \cos \operatorname{sec} \beta \cdot (1 - \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \theta)^{0.5} \quad [m^2]$$

Atendendo a que a área iluminada também contribui para o ensombramento de outras partes do corpo, então o factor de conformação que serve de base aos cálculos pode ser determinado por:

$$\begin{aligned} A_h/A &= 2.r.h.\cossec \beta(1 - \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \theta)^{0.5} + \pi r^2 \cot \beta \cos \theta / 2\pi.r.h + 2\pi.r^2 \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \cossec \beta [2\pi^{-1}x \cdot (1 - \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \theta)^{0.5} + \cos \beta \cdot \cos \theta] / 2 \cdot (x + 1) \end{aligned}$$

em que: x é a relação entre o comprimento e o raio do cilindro considerado (Stafford-Smith et al., 1985).

Atendendo a que um animal pode ser representado por um cilindro com as dimensões r e h , Monteith e Unsworth (1990) propõem um factor de conformação (F_c) que pode ser expresso da seguinte forma:

$$F_c = (2\pi rh + 2\pi r^2)^{-1} \cdot [2rh \cossec \beta(1 - \cos^2 \beta \cos^2 \theta)^{0.5} + \pi r^2 \cot \beta \cos \theta]$$

Neste caso, a área iluminada do cilindro contribui proporcionalmente para a sombra numa fração correspondente a $A_{ilum} = \pi \cdot r^2 \cdot \cot \beta \cos \theta$. Todavia, caso o animal permaneça com o seu eixo longitudinal perpendicular à direcção da fonte de radiação, o efeito do ângulo azimutal anula-se e o factor de conformação simplifica-se: $F_c = h \cossec \beta [\pi \cdot (r + h)]^{-1}$

As condições meteorológicas são determinantes na preponderância da radiação de ondas curtas e longas. De acordo com McCullough e Porter (1971) citados por (Silva, 2000), num dia claro com céu limpo, apenas 8% da radiação de ondas curtas é constituída por radiação difusa. No entanto, 45% desta, devido ao seu ângulo suficientemente próximo ao do sol pode ser considerada radiação directa. Ou seja, cerca de 95,6% da radiação celeste de ondas curtas pode ser considerada, de facto, radiação directa. Porém, a presença de nuvens afecta a transmissão de ondas curtas, fazendo com que mais de 25% da radiação seja transmitida através das nuvens (Stafford-Smith et al., 1985). Assim, são propostas várias equações para as diferentes componentes da radiação solar de ondas curtas, tendo como base que a radiação total é o somatório das radiações directa, difusa e reflectida:

$$G_t = G_{dir} + G_{dif} + G_{ref} \quad [W.m^{-2}]$$

Para a radiação directa $G_{dir} = 0,956 \cdot (1 - c) \cdot G_p$; para a radiação difusa $G_{dif} = 0,044 \cdot G_p + 0,956 \cdot c \cdot G_p$ e para a radiação reflectida $G_{ref} = \rho \cdot G_p \cdot \text{sen}\theta$. G_p representa a radiação que atravessa a atmosfera limpa de aerossóis, sendo c a proporção de céu coberto por nuvens e ρ a reflectividade média da superfície do solo à radiação solar. À medida que aumenta o valor de c , correspondente a maior quantidade de nuvens, a radiação difusa aumenta relativamente à radiação directa (Monteith e Unsworth, 1990).

Atendendo aos aspectos referidos anteriormente, a quantidade de ondas curtas que atinge efectivamente uma superfície plana pode ser estimada pelo somatório das radiações directa, difusa e reflectida. No entanto, face à irregularidade da superfície dos animais, a radiação de ondas curtas que os atinge resulta do produto do seu factor de conformação pelo somatório das radiações ($F_c \cdot G_{dir}$) (McCullough e Porter, 1971 citado por Silva, 2000). A radiação difusa de ondas curtas pode em boa parte ser tratada como radiação directa e o seu valor, contemplando diferentes proporções de nebulosidade, pode ser estimada por:

$$G_{dif} = 0,044 \cdot G_p + F_c \cdot 0,956 \cdot c \cdot G_p \quad [W.m^{-2}]$$

A quantidade de radiação de ondas curtas efectivamente recebida pelo animal, sendo a

conjugação das radiações directa, difusa e reflectida é genericamente representada por:

$$R_c = F_c \cdot G_{dir} + G_{dif} + G_{ref}.$$

Pode ser calculada através da equação:

$$R_c = F_c \cdot [0,956 \cdot (1 - c) \cdot G_p] + 0,044 \cdot G_p + 0,956 \cdot c \cdot F_c \cdot G_p + (1 - \alpha) \cdot G_p \cdot \text{sen}\theta$$

ou seja:

$$R_c = G_i \cdot [0,956 \cdot (1 - c) \cdot F_c + 0,044 + 0,956 \cdot c \cdot F_c + (1 - \alpha_s) \cdot \text{sen}\theta],$$

em que α_s é a reflectividade da superfície do solo.

Quando o animal pode optar por permanecer à sombra, verifica-se uma diminuição dos valores da radiação directa recebida e aumentam os valores de radiação difusa e reflectida. Para contemplar estas situações, Stafford-Smith *et al.* (1985) propõem a seguinte equação:

$R_c = G_p \{ 0,956 \cdot (1 - s) \cdot (1 - c) \cdot F_c + (1 - 0,6 \cdot c) \cdot [0,044 + 0,956 \cdot c \cdot F_c + (1 - \alpha_s) \cdot \text{sen}\theta] \}$, sendo que $s = 1$ quando o animal permanece à sombra e $s = 0$ quando o animal se encontra sob a radiação solar.

No que concerne à radiação de ondas longas, esta provém principalmente da atmosfera e das superfícies próximas. O vapor de água e outros gases encontram-se na atmosfera a baixas temperaturas e emitem radiação de comprimentos de onda normalmente superiores a $4\mu\text{m}$. A superfície do solo e os objectos circunvizinhos, além de reflectirem a radiação de ondas curtas, também são fontes importantes de radiação de ondas longas, que vão interferir no balanço térmico dos animais.

A radiação de ondas longas proveniente da atmosfera pode ser estimada pela equação:

$$R_t = a + b \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

em que T_a é a temperatura do ar em graus Kelvin e os valores a e b dependem principalmente da quantidade de nuvens e do vapor de água presente (Swinbank, 1963, citado por (Silva, 2000). Contudo, esta equação não pode ser utilizada em situação de grande nebulosidade. Quando o céu está muito nublado, a quantidade de radiação emitida pelas nuvens depende das respectivas temperaturas e emissividades, que são bastante difíceis de medir (Monteith e Unsworth, 1990).

Stafford-Smith *et al.* (1985) referem que a temperatura radiante da atmosfera pode ser estimada a partir da temperatura do ar através da equação: $T_d = T_a - 20 + 10 \cdot c$ [$^{\circ}\text{C}$]. Substituindo na equação da radiação de ondas longas obtém-se:

$$R_t = \varepsilon_d \sigma (T_d + 273,15)^4 \quad [\text{W.m}^{-2}].$$

Monteith e Unsworth (1990), a partir da equação anterior, deduziram outra equação contemplando condições de sombreamento diferenciadas:

$$T_d = T_a + (1 - s) \cdot (10 \cdot c - 20)$$

Uma boa parte da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera atinge o animal numa área relacionada com o respectivo factor de conformação (F_c). À semelhança daquilo que ocorre com a radiação de ondas curtas, o factor de conformação condiciona a recepção da radiação de ondas longas. Obedecendo à Lei de Stefan-Boltzman, a radiação de ondas longas recebida pode ser estimada pela equação:

$$R_t = F_c \cdot \varepsilon_d \cdot \sigma \cdot T_d^4 \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

em que ε_d é a emissividade, que assume normalmente valores entre 0,96 e 0,98 e T_d^4 a

temperatura radiante efectiva do céu, calculada a partir da temperatura do ar.

Contemplando as outras fracções da radiação, como as ondas longas provenientes da circunvizinhança e o total de radiação de ondas curtas, obtém-se o total de energia radiante efectivamente permutado por um dado animal sob condições de insolação directa:

$$R_t = (1 - \rho_c) \cdot R_c + R_l + \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_s^4 - \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot T_c^4;$$

desenvolvendo cada um das parcelas obtém-se:

$(1 - \rho_c) \cdot \{G_p[(0,956 \cdot (1-s) \cdot (1-c) \cdot F_c + (1-0,6 \cdot c) \cdot [0,044 + 0,956 \cdot c \cdot F_c + (1-\alpha_s) \cdot \text{sen}\theta])\} + F_c \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_d^4 + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_c^4$ em que ρ_c é a reflectividade para as ondas curtas; ε_s e ε_c são as emissividades do solo e da superfície do animal, respectivamente; T_d^4 corresponde à temperatura radiante efectiva do céu calculada a partir da temperatura do ar e ε_d é a respectiva emissividade que assume o valor de 0,98.

A permuta de calor por condução é um mecanismo de transferência térmica entre dois corpos ou partes de corpos, que resulta da energia cinética da movimentação das moléculas. Ocorre invariavelmente de regiões de maior temperatura para regiões de menor temperatura. A condução apenas se realiza através de contacto directo entre as moléculas dos corpos ou superfícies envolvidas, ou seja, dentro da massa de um corpo ou entre corpos que se contactem (Lowry e Lowry II, 1989; Silva, 2000).

A magnitude do calor permutado por condução está largamente dependente do gradiente térmico. Contudo, algumas características intrínsecas aos corpos são susceptíveis de influenciar a intensidade com que se processa essa transferência. A difusibilidade térmica é uma propriedade física inerente a cada substância e exprime a capacidade de transferir a energia térmica relativamente ao seu calor específico. Traduz-se por: $D = \lambda / \rho c$ em que λ é a condutividade térmica, ρ a densidade e c o calor específico. Outros factores condicionam as velocidades com que se processam aquelas transferências. O fluxo de energia térmica por condução (Q_{cond}) através de um corpo com uma determinada massa, é directamente proporcional à área (A) e ao gradiente térmico ($T_1 - T_2$), inversamente proporcional à distância ou espessura (l), e é influenciada por uma constante de proporcionalidade (k) designada por condutividade térmica. Assim, o fluxo de calor por condução pode ser estimado através da equação:

$$Q_{cond} = k \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \cdot l^{-1} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

em que o coeficiente k [$W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C$] correspondente à condutividade térmica, propriedade física que mede a facilidade de passagem do fluxo de energia térmica (Ingram e Mount, 1975). Conjugando a resistência térmica com o gradiente térmico tem-se por analogia à Lei de Ohm que: $Q_k = r^{-1} \cdot (T_1 - T_2)$. A intensidade do fluxo de energia térmica Q_k associado a um corpo com condutividade térmica k , é igual ao gradiente térmico dividido pela resistência térmica (Ingram e Mount, 1975).

A condutividade térmica quando associada a um animal é designada por condutância (K). Ao contrário da primeira, a condutância não é uma propriedade física inerente a uma qualquer substância, porque está dependente das dimensões do corpo e pode ser expressa através da equação:

$$K = k \cdot A \cdot l^{-1} \quad [W \cdot ^\circ C^{-1}].$$

A condutância corresponderá no caso do animal a uma média das condutividades das várias partes do corpo dividida pela espessura média dessas mesmas partes, por exemplo a pele e pelagem. A recíproca da condutância é designada por resistência térmica (r) e traduz o grau de oposição à passagem do fluxo de energia térmica, retardando a velocidade do fluxo de calor e é representada por:

$$r = l.K^{-1}$$

$$[^{\circ}C.m^2.W^{-1}]$$

Tendo em consideração a constituição variável dos corpos dos animais, os fluxos de energia ao longo do corpo e entre este e o ambiente, ocorrem a velocidades diferentes. Esta variabilidade decorre de gradientes térmicos diferenciados e principalmente de diferentes resistências térmicas. Deve portanto atender-se às diferentes camadas heterogéneas que constituem o corpo dos animais, as quais apresentam diferentes condutividades térmicas e diferentes gradientes térmicos. Vários modelos têm sido desenvolvidos, dando realce à condução através de camadas múltiplas. Nestes casos, relacionam-se as diferentes resistências térmicas e os respectivos gradientes térmicos de forma a estabelecerem-se aditivamente os fluxos de calor intermédios:

$$Q_k = (r_1 + r_2 + \dots + r_{n-1} + r_n)^{-1} \cdot [(T_1 - T_2) + (T_2 - T_3) + (T_n - T_{n+1})] \text{ ou } Q_k = [\sum_{i=1}^n r_i]^{-1} \cdot (T_1 - T_{n+1})$$

Para o caso dos animais, o calor é gerado principalmente no núcleo do corpo. O escoamento para o exterior é realizado por fluxos de energia térmica que apresentam um percurso radial, de sentido predominantemente centrífugo. Quando se verifica a entrada de calor no corpo do animal o percurso centípeto também se realiza de forma semelhante mas com as resistências térmicas a ocorrerem inversamente. Assim, considerando que um quadrúpede pode assemelhar-se a um cilindro horizontal, o cálculo da permuta de calor por condução pode estimar-se através da equação:

$$Q_k/l = 2\pi \cdot (T_1 - T_{n+1}) / [k_1^{-1} \ln(r_2/r_1) + k_2^{-1} \ln(r_3/r_2) + \dots + k_n^{-1} \ln(r_{n+1}/r_n)]$$

$$\text{ou no caso de um cilindro unitário: } Q_k = 2\pi(T_1 - T_{n+1}) \cdot [\sum_{i=1}^n k_i^{-1} \ln(r_{i+1}/r_i)]^{-1} \quad [W.m^{-2}]$$

em que k_1, k_2, \dots, k_{n+1} são os coeficientes de condutividade térmica das diferentes camadas; r_1, r_2, \dots, r_{n-1} são as dimensões dos raios correspondentes aos limites externos das várias camadas, r_n o raio externo do cilindro e l o comprimento do cilindro (Rosenberg *et al.*, 1983; Monteith e Unsworth, 1990;).

Uma forma de permuta de calor que pode desempenhar um papel importante no balanço térmico do animal é a transferência de massa que ocorre quando o animal ingere alimento ou água. Vários autores confirmaram perdas apreciáveis de calor, quando os animais ingerem uma determinada massa de alimento ou de água com uma temperatura suficientemente afastada da respectiva temperatura nuclear (Degen e Young, 1984; Lofgreen *et al.*, 1975). O montante de calor permitido, depende essencialmente do gradiente térmico que se estabelece entre a temperatura da massa ingerida e a temperatura do núcleo do corpo e pode ser estimado através da equação:

$$Q_{mg} = m_i \cdot C_i \cdot (T_b - T_a), \quad [W]$$

em que m_i é a taxa com que é ingerida a massa considerada [$kg.s^{-1}$] (alimento ou água), C_i o respectivo calor específico e $(T_b - T_a)$ a diferença entre as temperaturas da massa ingerida e a temperatura nuclear (Bruce, 1993).

A convecção desempenha um papel determinante na permuta de calor entre o animal e o ambiente. É o processo em que um fluido, líquido ou gasoso, absorve energia num dado local e a transfere para outro lugar, para porções do fluido que se apresentem mais frias. Esta situação designa-se por corrente de convecção. Se o deslocamento do fluido ocorrer apenas por diferença de densidade devido ao gradiente térmico, o fenómeno designa-se por convecção natural ou passiva; no caso do fluido ser removido activamente através de mecanismos geradores de turbulência, o fenómeno designa-se por

convecção forçada ou activa (Ingram e Mount, 1975).

A convecção difere da condução porque, embora dependa do gradiente térmico, é influenciada pela forma, dimensão e características da superfície e pela velocidade do ar (Ingram e Mount, 1975). A velocidade de transferência de calor por convecção depende do gradiente térmico e do coeficiente de convecção e pode ser calculada através da equação:

$$Q_{\text{conv}} = A \cdot h_c \cdot (T_c - T_a) \quad [W \cdot m^{-2}]$$

em que A representa a área efectiva, h_c o coeficiente de convecção e $(T_c - T_a)$ o gradiente térmico entre a superfície e o fluido.

Verifica-se a ocorrência da transferência de calor por convecção devido à passagem de ar ao longo do tracto respiratório e também no transporte do sangue para a periferia. Porém, a maior parte destas permutas de calor parecem ocorrer no limite periférico do animal ao nível da superfície da pelagem (Ingram e Mount, 1975; Schmidt-Nielsen, 1997). Medições directas do calor permitido por convecção são difíceis de realizar, sendo o maior problema a determinação do coeficiente de convecção. Na verdade, o coeficiente de convecção depende do tipo e orientação da superfície, da natureza, da densidade, da viscosidade e do calor específico do fluido, da velocidade com que interage com a superfície e ainda da eventual presença de fenómenos evaporativos (Ingram e Mount, 1975; Rosenberg *et al.*, 1983).

Os cálculos da convecção tendem a simplificar-se recorrendo a números adimensionais. Contudo, o conhecimento acerca dos coeficientes de convecção dos animais é ainda limitado, em boa parte devido à complexidade das superfícies envolvidas. Simulando um quadrúpede através de um cilindro horizontal de diâmetro d , uma espessura da camada limite δ , e a condutividade térmica k , então a quantidade de calor permitida por convecção pode ser calculada pela equação:

$$Q_{\text{conv}} = (d/\delta) \cdot k \cdot (T_c - T_a) / d \quad [W \cdot m^{-2}]$$

onde (d/δ) representa o número de Nusselt (Nu). Com este número adimensional, são permitidas comparações entre taxas de transferência térmica em objectos semelhantes mas de dimensões diferentes (Monteith e Unsworth, 1990). A transferência de calor por convecção pode então ser representada pela equação:

$$Q_{\text{conv}} = k \cdot d^{-1} \cdot Nu \cdot (T_c - T_a) \quad [W \cdot m^{-2}]$$

Na convecção natural onde a circulação do fluido depende apenas da diferença de densidade devido ao efeito térmico, o número de Nusselt é também função de outro número adimensional designado por número de Grashof (Gr) . O valor de Gr depende do gradiente de temperatura entre a superfície e a atmosfera envolvente, da dimensão e característica do corpo, do coeficiente de expansão térmica, da viscosidade cinemática do ar (ν) e da aceleração gravitacional (g): $Gr = g \cdot d^3 \cdot \nu^{-2} \cdot T_a^{-1} \cdot (T_c - T_a)$.

Na convecção natural, a relação que se estabelece entre os números adimensionais é $Nu = BGr^m$, onde as constantes B e m dependem da geometria da superfície e do valor de Gr . Por outro lado, na convecção forçada, onde se verificam forças que originam o aumento da velocidade de circulação do fluido, o número de Nusselt é função de outro número adimensional, designado por número de Prandlt (Pr), que depende também da densidade do fluido ρ e da viscosidade cinemática ν à temperatura do ar: $Pr = \rho c v k^{-1}$.

A transferência de energia térmica por convecção forçada em cilindros pode ser calculada com

base no número de Nusselt, em função dos números de Prandlt (Pr) e de Reynolds (Re). Este expressa a relação das forças inerciais que são a causa da mudança da velocidade do fluido, tendo como referência a velocidade do ar V e pode ser calculado pela equação $Re = Vdv^{-1}$. Então, o número de Nusselt pode ser calculado pela equação: $Nu = Re^n Pr^m$ em que n e m são constantes que assumem valores diferentes consoante a forma e dimensão dos corpos (Monteith e Unsworth, 1990). Silva (2000) salienta a variabilidade dos valores de m e n consoante a forma do corpo dos animais e a variação do número de Re .

A relação que se estabelece entre os números Re e Gr é utilizada para definir se o regime convectivo é laminar predominando a convecção livre, ou turbulento predominando a convecção forçada. Para grandes valores de Gr/Re^2 a transferência de calor realiza-se predominantemente por convecção livre. À medida que a relação vai decrescendo começa a predominar a convecção forçada (Cena e Monteith, 1975b). Para a determinação do número de Nusselt médio da superfície do animal, Mount (1979), citado por Monteith (1975b) refere as relações $Nu = B.Gr^m$ para a convecção livre e $Nu = A.Re^n$ para a convecção forçada. Wiersman e Nelson (1968) citados por Esmay (1978), utilizando um modelo de bovino experimental de forma cilíndrica chegaram aos valores de $Nu = 0,509.Re^{0,537}$ para valores de Re entre 8000 e 15000, enquanto que para fluxos de ar ascendentes e descendentes foi obtida a equação $Nu = 0,65.Re^{0,53}$. Várias equações têm sido propostas por diferentes autores e para várias formas e condições ambientais, com vista a um maior rigor na predição da dissipação de calor por convecção. Monteith e Unsworth (1990), referem que a forma de um cilindro que simula um quadrúpede apresenta algumas limitações de cálculo na relação que estabelece com o fluxo de ar. Ainda assim parece poder ser utilizada a equação: $Nu = ARe^n Pr^{0,33}$, realçando contudo que a raiz cúbica do volume do cilindro pode em alguns casos ser mais adequada para o cálculo que o diâmetro do cilindro.

Uma das vias de permuta de calor por convecção menos referida na bibliografia reporta-se à perda sensível de calor durante o processo respiratório. Quando uma determinada massa de ar é inspirada, dificilmente se encontrará à mesma temperatura do núcleo do corpo. Logo, para que essa massa de ar adquira a temperatura do núcleo do corpo, necessita de permitar calor. No caso da temperatura do ar estar abaixo da temperatura nuclear, o animal cede calor. No caso contrário o animal adquire calor, uma vez que a massa de ar transfere para o corpo do animal a energia correspondente às diferenças de temperatura. Assim, o gradiente térmico que se regista entre o ar inspirado e ar expirado, é o principal responsável pela permuta de calor sensível, que pode ser calculada a partir da equação:

$$Q_{sresp} = \rho.c.v.F_{resp} \cdot (T_b - T_a) \quad [W.m^{-2}]$$

em que ρ é a densidade do ar inspirado [$Kg.m^{-3}$], c o calor específico do ar [$J.Kg^{-1}.K^{-1}$], v o volume dos pulmões utilizado para a ventilação, F_{resp} a frequência respiratória e $(T_b - T_a)$ o gradiente térmico entre o ar expirado e inspirado.

A permuta de calor latente entre o animal e o meio ambiente é um processo bastante utilizado, principalmente em condições de temperaturas elevadas. Com a diminuição do gradiente térmico entre a temperatura ambiente e a temperatura nuclear dos animais, torna-se necessário o recurso à via evaporativa para perder calor, que é independente do gradiente térmico. A perda de calor por via evaporativa pressupõe a passagem de uma determinada massa de fluido do estado líquido para o estado gasoso, processo que quando ocorre a $10^\circ C$ requer $2,45 MJ.kg^{-1}$, valor designado por calor latente de

vaporização que diminui com a temperatura ($2,4 \text{ J.g}^{-1}.K^{-1}$). Essa energia é retirada da superfície onde ocorre a vaporização, originando a diminuição da sua temperatura. Todavia, esta permuta de calor está condicionada às condições ambientais, designadamente à temperatura e humidade. A relação que se estabelece entre a condensação e a vaporização depende da concentração de moléculas de água na atmosfera. Se esta for suficientemente alta, a taxa de condensação iguala a taxa de vaporização. Essa concentração de água é expressa em pressão parcial de vapor, que no seu valor máximo corresponde à pressão de saturação, onde o volume de ar não suporta mais quantidade de vapor de água. O aumento da temperatura desencadeia um processo de expansão dos gases permitindo a presença de maior quantidade de moléculas água. Assim, quanto maior a temperatura maior a pressão de saturação. A humidade relativa (que relaciona a fracção molar do vapor de água presente na atmosfera com a fracção molar do vapor na atmosfera saturada à mesma temperatura e pressão) é um indicador nas permutas de calor latente entre os animais e o meio.

De um modo geral, a transferência de energia térmica de um animal para o ambiente através da evaporação, pode ser estimada multiplicando a massa de água evaporada pelo calor latente de vaporização (λ), cujo valor varia com a temperatura. Nesses casos, a temperatura de evaporação da água (T_s) é próxima ou igual à temperatura corporal e, frequentemente, maior que a atmosférica (T_a). A quantidade necessária para converter 1 g de água à temperatura T_s para vapor à temperatura T_a é estimada através da equação:

$$Q_{\text{evap}} = \lambda - c_v \cdot (T_s - T_a) [\text{J.g}^{-1}.^{\circ}\text{K}^{-1}], \text{ sendo } c_v \text{ o calor específico do vapor.}$$

A evaporação na superfície cutânea é uma das vias mais utilizadas pelos bovídeos para fazer face ao stresse térmico. Porém, nem todo o fluido disponibilizado à epiderme advém directamente das glândulas sudoríparas, derivando uma parte de um processo de difusão passiva designado por perspiração insensível, que é uma forma obrigatória de evaporação que envolve a difusão do vapor de água procedente dos tecidos subjacentes à epiderme. A taxa de difusão de água através da pele depende da relação que se estabelece entre as pressões de vapor, as temperaturas e as características da própria pele (McLean, 1974). Considerando este processo ausente de quaisquer influências de fenómenos convectivos, a taxa de transferência térmica por perspiração insensível pode ser estimada pela equação:

$$Q_{ip} = h_{ip} (P_{p\{ts\}} - P_{p\{ta\}}) [W.m^{-2}]$$

onde h_{ip} é o coeficiente de transferência térmica, (bastante difícil de ser estimado) e $P_{p\{ts\}}$ e $P_{p\{ta\}}$ as pressões parciais de vapor na superfície e no ar. Não existe uma uniformidade metodológica para a determinação da perspiração insensível em animais sujeitos a stresse térmico, uma vez que as respostas fisiológicas são bastante diversificadas, e porque ocorre simultaneamente à sudação (Rosenberg *et al.*, 1983).

A evaporação da água de superfícies lisas está dependente não apenas dos gradientes de pressão de vapor de água, mas também de um coeficiente de proporcionalidade que relaciona a velocidade do ar com a geometria e características da superfície. Quando se consideram os fenómenos de permuta de calor latente, devem ser considerados simultaneamente fenómenos convectivos, que na maioria dos casos estão associados às diferentes velocidades de evaporação. Os coeficientes de convecção e de evaporação são ambos influenciados da mesma forma, pela velocidade e direcção do ar e pela geometria da superfície (McLean, 1974). De modo semelhante à convecção, recorre-se a números adimensionais para contemplar

as diferenças nas velocidades do ar e na conformação das superfícies, sendo nestes casos utilizado o número de Sherwood (Sh). Para situações onde ocorre convecção livre é proposta a equação: $Sh = B.Gr^n.Sc^m$. Quando se verifica convecção forçada utiliza-se preferencialmente a equação: $Sh = Re^n.Sc^m$, onde Sc é o número de Schmidt (calculado pela equação $Sc = v/D$, em que D é a difusibilidade do vapor de água no ar). O expoente m apresenta o valor 0,25 na situação de convecção livre. No caso de convecção forçada em que $Gr > 10^8$, o valor aumenta para 0,33 (Monteith e Unsworth, 1990).

O equilíbrio térmico de uma superfície húmida é expresso pelo equilíbrio entre as trocas de calor latente e as trocas de calor por convecção. Esta igualdade baseia-se na premissa que a pressão parcial de vapor na camada de ar junto à superfície é igual à pressão de saturação do ar à temperatura da superfície. Neste caso, as trocas térmicas por radiação e por condução não são consideradas. Então se $Q_{conv} = Q_{evap}$ resulta $\rho.c.(T_s - T_a).r_H^{-1} \Leftrightarrow \rho.c.(P_{p\{t_s\}} - P_{p\{t_a\}}) \cdot (\gamma^* \cdot r_H)^{-1}$; em que T_s e T_a são as temperaturas da superfície e do ar, $P_{p\{t_s\}}$ e $P_{p\{t_a\}}$ as pressões parciais de vapor na superfície e no ar, $\gamma^* = \gamma \cdot r_v / r_H$, em que γ é uma constante psicrométrica e r_v e r_H são as resistências térmicas às trocas por convecção e evaporação respectivamente (Silva, 2000). Monteith e Unsworth (1990) sugerem que o coeficiente de resistência à troca térmica por convecção pode ser calculado através da equação: $r_H = \rho.c.d.(k.Nu)^{-1}$ enquanto que o coeficiente de resistência à troca térmica por evaporação pode ser calculado pela equação: $r_v = d.(D.Sh)^{-1}$. Assim sendo, a permuta de calor latente pode ser calculada através da equação:

$$Q_{evap} = \rho.c.(P_{s\{T_a\}} - P_{p\{T_a\}}).r_H^{-1}.(\beta + \gamma^*)^{-1} [W.m^{-2}] \text{ em que } \beta = 2,164945.\lambda.P_s\{T_a\}/T_a^2, [kPa.^{\circ}K^1]$$

Quando a estas condições se adiciona o factor radiação solar, o grau de complexidade aumenta consideravelmente. A permuta de calor por radiação depende da temperatura da superfície e a taxa de evaporação reflecte positivamente os efeitos da radiação solar. Quando se considera a radiação térmica sobre a superfície em causa pode ser aplicada a equação de Penman (1948), citado por Silva (2000):

$$Q_{evap} = \rho.c.(P_{s\{T_a\}} - P_{p\{T_a\}}).r_H^{-1}/\beta + \gamma^* + \beta.R_t/\beta + \gamma^*$$

em que $R_t = \alpha.R_c + R_i$. Monteith e Unsworth (1990), relacionando a dependência das trocas térmicas com as temperaturas das superfícies, sugeriram uma alteração da equação para:

$$Q_{evap} = \beta.R_i + \rho.c.(P_{s\{T_a\}} - P_{p\{T_a\}}).r_{HR}^{-1}/\beta + \gamma^*$$

em que R_i corresponde ao montante de radiação que a superfície receberia se estivesse à mesma temperatura da atmosfera, sendo $\gamma^* = \gamma.(r_H + r_v)/r_{HR}$; $r_{HR} = [(1/r_H) + (1/r_R)]^{-1}$ e $r_R = \rho.c.(4.\sigma.T_s^3)^{-1}$. Tal como é possível identificar, quando o animal se encontra com a superfície corporal humedecida (desde que a resistência às trocas térmicas por vaporização interposta pela pelagem não seja demasiadamente elevada) consegue perder bastante maior quantidade de calor associando a convecção ao processo evaporativo. É possível depreender que o acréscimo de energia térmica na superfície da pele do animal proveniente da radiação solar incidente, tende a determinar uma maior taxa de termólise evaporativa (Cena e Monteith, 1975b, c; Monteith e Unsworth, 1990).

A perda de calor latente pelo tracto respiratório pressupõe a existência de um fluxo laminar de regime turbulento, que está dependente dos volumes e das velocidades do ar inspirado e do ar expirado e

ainda das características do ar circundante. A eliminação de calor pela respiração pode ser calculada pela equação:

$$Q_{resp} = \lambda \cdot (M_{ve} - M_{vi}) + V \cdot c \cdot \rho (T_{ip} - T_a) \quad [W \cdot m^{-2}]$$

em que $(M_{ve} - M_{vi})$ é a diferença entre as massas de vapor de água expiradas e inspiradas por unidade de tempo, V é a taxa de ventilação pulmonar, $(T_{ip} - T_a)$ o gradiente térmico entre a mucosa do trato respiratório e o ar, c e ρ são características do ar à temperatura T_a . A diferença entre M_{ve} e M_{vi} pode ser calculada pela diferença na humidade absoluta do ar expirado relativamente ao inspirado, considerando o volume de ar ventilado por unidade de tempo. McArthur (1987) introduz uma nova variável que traduz a resistência à transferência de calor associada à mucosa do trato respiratório (r_v), que está dependente da frequência respiratória: $r_v = 100 \cdot (0,005 + 0,00027 \cdot F_{resp})^{-1}$ [$s \cdot m^{-1}$]. Assim a perda de calor pela respiração pode ser calculado pela equação:

$$Q_{resp} = [\rho \cdot c \cdot (P_{s(t_b)} - P_{p(t_a)})] \cdot (r_v) \quad [W \cdot m^{-2}]$$

McGovern e Bruce (2000) conciliaram numa única equação a dissipação de calor latente, contemplando ainda a área superficial do corpo do indivíduo:

$$Q_{evap} = (V_{vt} \cdot F_{resp} \cdot \rho / A) \cdot \{[c \cdot (T_b^* - T_a^*)] + \lambda \cdot (\chi_{exp} - \chi_{insp})\} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

em que V_{vt} é o volume de ar ventilado, F_{resp} a frequência respiratória, A a superfície corporal estimada, T^*_{exp} e T^*_{insp} respectivamente as temperaturas virtuais do ar expirado e do ar inspirado, χ_{exp} e χ_{insp} os teores em humidade do ar expirado e inspirado, respectivamente. As temperaturas virtuais, segundo McArthur (1987) são calculadas pela equação: $T^* = T_k(1 + 0,38P_{pv} / P_a)$ em que T_k é a temperatura [$^{\circ}K$], P_{pv} a pressão parcial de vapor do ar considerado e P_a a pressão atmosférica [$mbar$].

No ambiente exterior, as interacções que se estabelecem entre as várias vias de permuta de calor originam uma elevada complexidade. No entanto de forma genérica as permutas de calor pode ser representadas indirectamente através da equação da homeotermia:

$$Q_{met} + Q_{rad} + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{evap} + Q_{trb} = Q_{armz}$$

em que as parcelas correspondem respectivamente ao calor metabólico, às permutas por radiação, condução, convecção e evaporação e ao calor da actividade física e do trabalho em geral. Estas no seu conjunto igualam o valor do calor armazenado. Quando igual a zero, o animal encontra-se em pleno equilíbrio térmico, com valores iguais entre a termogénese e a termólise. Apesar deste conceito ser bastante simples, as medições de todas estas variáveis no espaço exterior são bastante difíceis e por vezes impraticáveis. A Fig. 2.2. permite ilustrar os fluxos de calor que se estabelecem entre o animal e o meio envolvente.

A estimativa dos balanços térmicos completos raramente têm sido tentados, principalmente devido à sua complexidade. Bartlett e Gates (1967) elaboraram um complexo trabalho analisando o balanço térmico de um réptil, que apresenta uma menor dependência do calor metabólico e principalmente uma menor inércia térmica.

As condicionantes que envolvem os animais são muito variáveis. Estudos em mamíferos africanos, demonstraram que em clima semi-árido uma das maiores fontes de aquisição de calor provém do solo através da re-radiação de ondas longas. Estes trabalhos revelaram também a importância do tipo de solo

e do perfil de exposição à radiação solar. As características da pelagem e as diferentes interacções com a velocidade e direcção dos ventos são fontes importantes de variação, nem sempre fáceis de integrar.

São conhecidos vários trabalhos de origem a modelos muitas vezes empíricos ou mecanicistas de quantificação do balanço térmico entre o animal e o meio circundante. Destacam-se os modelos bastante elaborados e complexos de Mount e Brown (1982), McArthur (1987), Stafford-Smith *et al.* (1985) e Bruce (1993). Tais modelos têm permitido inferir, com rigor aceitável, as tendências dos fluxos de calor de animais em condições de equilíbrio térmico.

Outros autores apenas realizaram estudos mais particulares acerca dos fluxos de calor ao longo da pelagem (Davis e Birkebak, 1974; Cena e Monteith, 1975a,b; McArthur, 1981; Gebremedhin *et al.*, 1983), ou em questões particulares das permutas de calor por radiação (Hutchinson e Brown, 1969; Yeates, 1977; Yamamoto *et al.*, 1994; Silva, 1998). Estes modelos parciais são normalmente mais exactos, devido ao melhor controle das interacções que se estabelecem. Contudo referem-se apenas a uma pequena parte do balanço térmico global.

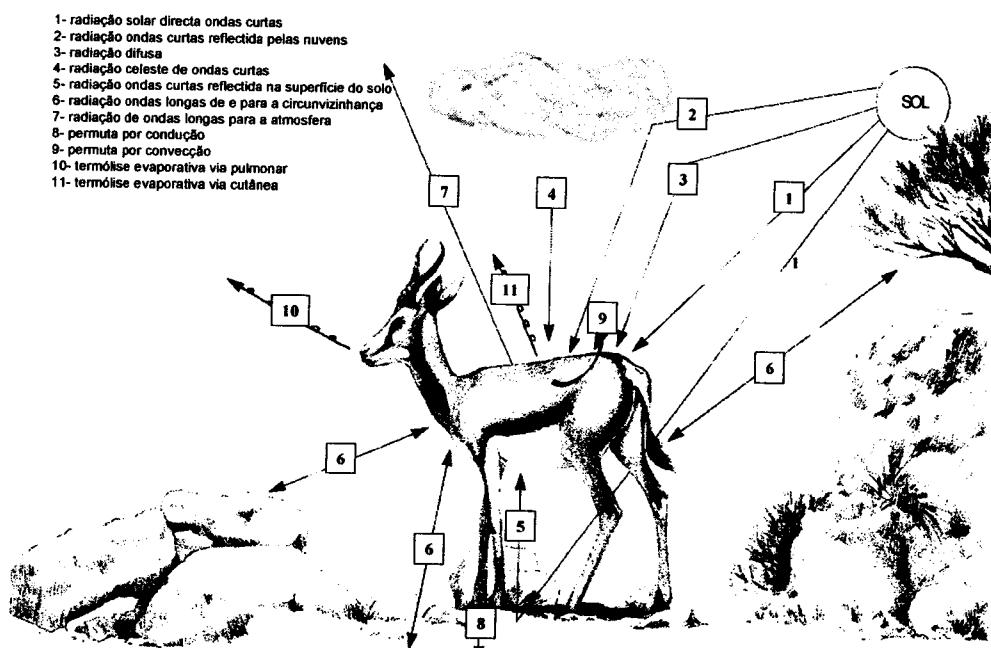


Fig. 2.2. - Fluxos de calor entre o animal e o meio envolvente

Adaptado de Lovegrove, 1999

Mais recentemente, McGovern e Bruce (2000) e Turnpenny *et al.* (2000) desenvolveram modelos com maior grau de funcionalidade, apesar de bastantes complexos. Os modelos conjugam as variáveis meteorológicas com as decorrentes consequências fisiológicas, designadamente as alterações na condutância, com diferenciação entre o tronco e os apêndices nas permutas de calor.

Apesar desta abordagem mais global, os modelos prevêem apenas condições de equilíbrio térmico, o que se afigura algo redutor. Estes modelos apresentam alguma incapacidade em relacionar as alterações das variáveis meteorológicas com as alterações dos isolamentos térmicos (tissular e externo) e, principalmente, com os armazenamentos de calor. Esta incapacidade é talvez o maior obstáculo para a aplicação destes modelos em condições de campo, onde prevalecem variáveis armazenamentos de calor decorrentes (McGovern e Bruce, 2000; Turnpenny *et al.*, 2000).

A impossibilidade de recorrer a metodologias de análise temporal reflecte outro constrangimento

que impede a compreensão global das variações circadianas do balanço térmico. As metodologias de análise associadas à cronobiologia podem permitir uma melhor descrição do balanço térmico do animal, possibilitando avaliações contínuas das variáveis fisiológicas relacionando-as de forma sincrónica com as variáveis meteorológicas, originando assim um melhor entendimento dos factores e processos associados à termorregulação.

COMPONENTE EXPERIMENTAL

Sob o mais rigoroso controle das condições de temperatura, humidade, pressão além de outras variáveis, o organismo apresentará o comportamento que mais lhe apetecer.

Lei de Harvard in "Leis de Murphy"

3. ESTUDO COMPARATIVO DAS REACÇÕES FISIOLÓGICAS E DOS NÍVEIS DE ACLIMAÇÃO PERANTE PERÍODOS ALTERNADOS EM TERMONEUTRALIDADE E SOB CONDIÇÕES DE TEMPERATURA ELEVADA

3.1. Introdução - Enquadramento bibliográfico

O ambiente térmico a que um animal pode estar sujeito é muito variável. A temperatura, a humidade do ar, a radiação solar e o vento, dependendo da sua intensidade, do tempo em que actuam e das interacções que estabelecem entre si, podem originar diversas reacções nos animais susceptíveis de reduzir o seu potencial produtivo.

Desde há bastante tempo foram estabelecidas várias relações entre as temperaturas ambiente e as reacções fisiológicas. Os primeiros estudos realizados baseados na suspeita da interferência negativa de um ambiente quente na fisiologia dos animais remontam ao século XIX. Brody (1956) sintetiza os aspectos mais marcantes de trabalhos realizados por vários autores durante o século XIX, referindo algumas conclusões que sugerem uma influência negativa da elevada temperatura na homeostasia dos animais.

Os primeiros trabalhos que demonstraram os efeitos da temperatura e da humidade na fisiologia dos animais e no seu desempenho produtivo foram realizados já no século XX. Destacam-se, a partir da década de 30, os trabalhos de Rhoad, (1935), Bonsma (1949), Kibler *et al.*, (1949), Findlay, (1950), McDowell *et al.* (1953), Brody (1956), Schmidt-Nielsen *et al.* (1957), Blincoe (1958) e Lee (1965).

Após mais de 60 anos, foi demonstrado de forma inequívoca a interferência directa das altas temperaturas na fisiologia dos animais e no respectivo desempenho produtivo. Os estudos delineados em câmara climática e a campo aberto, tanto em clima temperado como em clima tropical, têm evidenciado uma coerência na natureza das reacções exibidas pelos animais, mas igualmente uma grande heterogeneidade na magnitude das respostas. Cada espécie, raça ou mesmo indivíduo, integram as variáveis ambientais e reajustam a sua fisiologia e a sua produtividade de forma diferente. Johnson (1985) em revisão efectuada, evidencia de forma esquemática as alterações fisiológicas ocorridas em bovinos perante condições térmicas diversificadas.

A identificação de ambientes térmicos desfavoráveis pressupõe, por oposição, a existência de uma gama de temperaturas mais adequadas à sobrevivência e ao bem-estar dos animais. O conceito de zona de termoneutralidade baseia-se na existência de uma gama de temperaturas onde o indivíduo se mantém em equilíbrio térmico dinâmico com o meio exterior, sem ter que realizar de forma activa e com dispêndio de energia as correcções necessárias para manter a homeotermia. Várias definições de zona de termoneutralidade têm sido enunciadas ao longo dos últimos anos. Aquela que é porventura a mais frequentemente adoptada foi sugerida por Bligh e Johnson (1973): “a zona termoneutra é aquela onde o animal pode apresentar a sua taxa metabólica mínima e onde a regulação da homeotermia é efectuada através da permuta de calor sensível”. Portanto, em termoneutralidade, os animais reúnem as condições óptimas para exhibir na plenitude o seu potencial genético e consequentemente a sua máxima produtividade (Yousef, 1985b).

A zona de termoneutralidade é delimitada pelas temperaturas críticas, inferior e superior. Além destas temperaturas é necessário que o animal recorra a mecanismos activos para manter a homeotermia,

com o inevitável dispêndio adicional de energia. Assim, abaixo da temperatura crítica inferior é indispensável o aumento da termogénese e acima da temperatura crítica superior é imprescindível o incremento da termólise latente (Yousef, 1985a; Eckert *et al.*, 1997). Esta maneira de abordar a zona de termoneutralidade aplica-se principalmente a condições em que os animais se apresentam circunscritos a um local definido e em jejum, ou pelo menos com dieta controlada. Numa perspectiva mais abrangente e de maior aplicabilidade, a determinação dos limites de variação da zona de termoneutralidade é mais variável e deve reportar-se ao indivíduo inserido num dado local e associado a determinadas condições que não apenas as térmico-higrófilas. Na verdade, a zona termoneutra deve ser entendida como um conceito individual e relativo. Esta variabilidade depende não apenas do próprio crescimento mas também da condição corporal instantânea, da disponibilidade e qualidade da dieta, do nível produtivo, das condições de exploração e alojamento e do grau de aclimatação (Yousef, 1985b; Jessen, 2001;).

Dentro da zona de termoneutralidade o animal realiza apenas pequenos reajustes na sua condutância com vista a variar a velocidade do fluxo centrífugo de calor e a equilibrar a termogénesese e a termólise. Os mecanismos a que os animais podem recorrer para a manutenção do balanço térmico vêm esquematizados na Fig. 3.1..

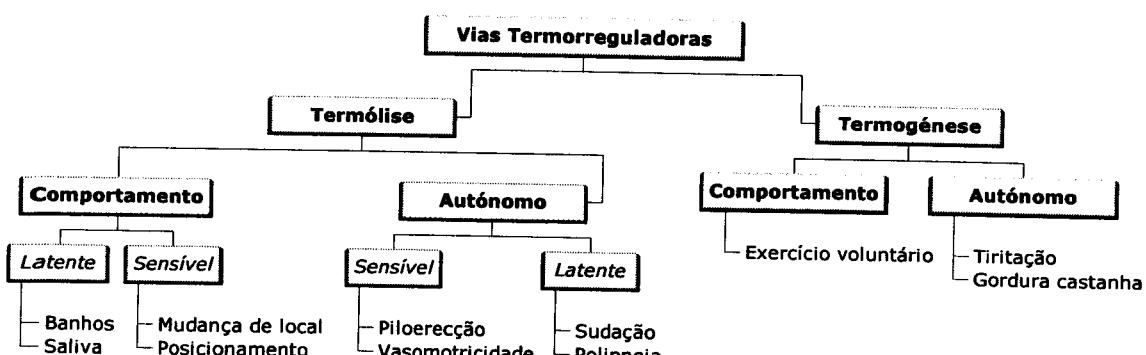


Fig. 3.1. - Componentes da termogénesse e da termólise

Adaptado de Bligh (1998)

A permanência do animal em condições acima da temperatura crítica superior pode determinar diferentes reacções. O tipo e a magnitude destas dependem não só da intensidade do estímulo térmico e da sua duração mas também da forma como ocorre a transição para o ambiente mais quente. De acordo com a interacção dos factores referidos, desenvolve-se uma reacção de alarme coordenada pelo hipotálamo. Tal como em qualquer situação indiferenciada de stresse, observam-se dois tipos de respostas sequenciais, ambas involuntárias. Numa primeira fase, a resposta é desencadeada por via do sistema nervoso autónomo simpático e pela activação do eixo hipotálamo-hipófise-côrtez das supra-renais. Esta resposta rápida e inespecífica permite desencadear a libertação das catecolaminas, a adrenalina e a nor-adrenalina. Estes mensageiros químicos são libertados em maior quantidade, quer directamente ao nível dos órgãos e tecidos onde ocorram terminações nervosas simpáticas, quer indirectamente para a corrente sanguínea através da estimulação da medula das supra-renais. As catecolaminas originam aumento da disponibilidade de substratos energéticos, com incrementos das frequências cardíaca e respiratória (Kibler *et al.*, 1949; Kibler, 1964;; Turner *et al.*, 1984; Young, 1985).

A manutenção deste cenário faz com que o hipotálamo segregue numa fase seguinte a corticotrofina que promove a libertação da hormona estimulante do córtex das supra-renais (ACTH), que

por sua vez desencadeia a libertação dos mineralcorticóides (aldosterona e desoxicorticosterona) e dos glucocorticóides (cortisol e corticosterona).

As implicações da estimulação do córtex das supra-renais são diversas, intervindo em vários órgãos e tecidos. As influências são notórias ao nível do sistema imunitário, incrementando as defesas do organismo, ao nível dos rins com influência na pressão arterial e no metabolismo electrolítico e também no metabolismo energético. Os glucocorticóides estimulam principalmente a mobilização do glicogénio hepático e a neoglucogénesis, garantindo desta forma um suprimento acrescido de energia ao encéfalo e aos músculos. O aumento do catabolismo ocorre em primeiro lugar nos depósitos de gordura e só posteriormente na massa muscular. Devido aos elevados níveis de glucocorticóides, verifica-se um desvio da utilização da glucose para a produção de energia, pelo que a síntese proteica é frequentemente incapaz de compensar o nível de catabolismo, originando balanços azotados negativos (Alvarez e Johnson, 1971). A maior disponibilidade da glucose e o seu maior grau de utilização acentua uma maior intensidade metabólica, que se traduz num aumento da produção de calor endógeno. Esta reacção ao stresse térmico agudo é acompanhada por aumentos das frequências cardíaca e respiratória, que reflectem uma estimulação simpática e um aumento da taxa metabólica. Estes efeitos, que resultaram inicialmente da estimulação simpática, podem manter-se ou até incrementar-se devido ao efeito de Arrhenius Van't Hoff.

Esta reacção ao stresse térmico por calor é algo paradoxal tendo em vista que nesta fase o animal necessita reduzir a produção de calor metabólico. A manutenção do indivíduo nestas condições determina, por isso, uma resposta específica visando uma diminuição global da termogénese. Nesta etapa, verifica-se normalmente uma diminuição dos níveis de glucocorticóides abaixo dos valores basais de referência. As respostas adaptativas de médio e longo prazo visam reajustar o animal às novas condições prevalecentes, minimizando o esforço requerido para a manutenção da homeotermia. Este processo que pode ocorrer quando o animal permanece em câmara climática sujeito a temperaturas elevadas, designa-se por aclimação. Perante uma mudança e permanência suficientemente prolongada em ambiente mais quente verificam-se alterações fisiológicas e anatómicas, cujo processo é designado por aclimatação ou acclimatização. Em ambos os casos, verifica-se um aumento da capacidade máxima de perder calor por via latente, devido à maior eficiência nos processos de polipneia e de sudação e eventualmente um provável aumento da condutância corporal (Schleger e Turner, 1965; Robertshaw, 1985).

Vários autores têm referido uma diminuição significativa dos níveis de cortisol e do seu *turnover* durante períodos mais ou menos prolongados de stresse térmico (Yousef e Johnson, 1967; Alvarez e Johnson, 1971; Ingraham *et al.*, 1976;). Porém, outros autores verificaram uma ausência de variações consistentes (Wise *et al.*, 1988), ou até ligeiros aumentos (Elvinger *et al.*, 1992; Muller *et al.*, 1994a). Esta última situação parece estar associada a medições obtidas numa fase precoce de stresse térmico, onde ainda prevalecem as respostas inespecíficas. Situações semelhantes são referidas em casos onde se verifica grande stresse psicológico, cujos efeitos se sobrepõem, por vezes, ao do próprio stresse térmico (Alvarez e Johnson, 1971; Silanikove, 2000).

O genótipo parecer ser um factor determinante na intensidade da resposta. Nas raças tropicais o *turnover* tende a ser inferior. O stresse térmico parece favorecer uma menor resposta do córtex das supra-renais à presença da hormona ACTH (Berbigier, 1988). Tal parece contribuir para que, durante o stresse térmico prolongado, os baixos níveis de cortisol possam contribuir para a diminuição da produção



de calor metabólico, contribuindo assim para a eficiência do processo de aclimatação (Alvarez e Johnson, 1971). A tendência para a recuperação dos níveis iniciais de cortisol, pode indicar um estado mais avançado de aclimatação (Yousef e Johnson, 1967; Silanikove, 2000).

A redução da termogénese é um objectivo que se concretiza também através de um novo equilíbrio endócrino. Constatam-se normalmente diminuições plasmáticas das hormonas calorigénicas (principalmente triiodotironina, tiroxina e somatotrofina) que subsidiam o abrandamento da taxa metabólica (Young, 1985; Jessen, 2001).

As consequências do stresse térmico nos aspectos produtivos advém em boa parte da diminuição da ingestão voluntária e da necessidade de reduzir a médio-longo prazo a produção de calor metabólico. Esta situação é duplamente ineficiente, uma vez que se regista simultaneamente uma menor ingestão de energia metabolizável e um novo equilíbrio neuro-endócrino que determina o abrandamento da taxa metabólica (Bianca, 1965; Zia-Ur-Rehman *et al.*, 1982; Alnaimy *et al.*, 1992). A redução da ingestão de energia metabolizável vai repercutir-se numa menor disponibilidade energética e proteica para suprir as necessidades conjuntas de manutenção e crescimento (Alnaimy *et al.*, 1992). O desequilíbrio entre os metabolismos proteico e energético origina com frequência balanços azotados negativos, principalmente nos animais mais próximos da maturidade. Nos animais mais jovens, a elevada taxa de síntese proteica parece impedir a ocorrência de balanços azotados negativos (Alvarez e Johnson, 1971).

São numerosos os trabalhos que evidenciam os efeitos negativos do stresse térmico no crescimento (Findlay, 1950; Brody, 1956; Blincoe, 1958; Baccari Jr. *et al.*, 1983; Frisch e Vercoe, 1984; Hetzel, 1988; Hahn *et al.*, 2001), na produção de leite (Johnson *et al.*, 1966; Roman-Ponce *et al.*, 1976; Collier *et al.*, 1981; Head, 1989; Baccari Jr., 1998; Thompson *et al.*, 1999) e na reprodução (Turner, 1982; Chemineaur, 1993; Gilad *et al.*, 1993; Lammoglia *et al.*, 1997; Thatcher, 1989; Hansen e Aréchiga, 1999). Na verdade, as diminuições da produtividade dos animais são tanto maiores quanto maior for o seu potencial genético, ou seja, quanto maiores forem as exigências em nutrientes e a intensidade metabólica requerida para a produção. Por isso, as repercussões negativas na produção de leite são normalmente mais significativas (Thompson *et al.*, 1999; Baccari Jr., 2001).

Importa no entanto salientar que nem todas as raças bovinas apresentam o mesmo comportamento perante condições ambientais semelhantes. É devidamente salientado na bibliografia que em condições de temperaturas elevadas, os animais *Bos indicus* apresentam melhores desempenhos que os *Bos taurus* (Colditz e Kellaway, 1972; Frisch e Vercoe, 1984; Spiers *et al.*, 1994), situação confirmada também em vários estudos de tolerância ao calor (Lee, 1965; Amakiri e Funsho, 1979; Berbigier, 1983; Titto *et al.*, 1998). Tal parece dever-se à interacção de vários factores que vão determinar, nos zebuínos, uma maior temperatura crítica superior, designadamente: a menor taxa metabólica, a maior condutância e os maiores níveis de termólise latente (Kibler e Brody, 1950; Finch *et al.*, 1982; Finch, 1985; Singh e Bhattacharya, 1991). Outros autores complementam esta informação referindo que os zebuínos apresentam ainda vantagens comparativas na eficiência com que aproveitam os recursos alimentares e como toleram maiores cargas parasitárias (Frisch e Vercoe, 1977).

Considerando o binómio ambiente térmico e qualidade alimentar, Carvalheira *et al.* (1995) avaliaram em Moçambique o desempenho de duas raças do grupo Sanga, a Landim e a Afrikander. Foi observado que a Afrikander apresentou invariavelmente pesos superiores à nascença (+16%), ao desmame (+9%) e aos 18 meses (+7%). Contudo, os autores referem que estes resultados normalmente se invertem

quando as condições alimentares se deterioraram.

A necessidade de reduzir a termogénese faz com que uma das primeiras reacções apresentadas pelos animais seja a redução do apetite e consequentemente a redução da ingestão voluntária. A ingestão voluntária é todavia influenciada por uma miríade de factores, alguns intrínsecos ao animal, outros dependentes da própria dieta e outros dependentes de factores ambientais. Fenómenos sensoriais e perceptivos podem influenciar a palatabilidade de um alimento e desencadear a ingestão. O balanço hormonal, o estado fisiológico e a condição corporal também interferem directamente no ritmo e na quantidade de alimento ingerido. A multiplicidade de interacções susceptíveis de serem estabelecidas entre estes factores inviabilizam frequentemente o estabelecimento de uma relação inequívoca entre a variação da ingestão e as suas causas prováveis (Beede e Collier, 1986; Sprinkle *et al.*, 2000).

As condições extrínsecas ao animal desempenham um papel determinante na quantidade de alimento ingerido. As características das dietas, designadamente as baixas concentrações nutritivas, com altos teores em fibra (característicos das gramíneas tropicais) originam menores digestibilidade e degradabilidade, determinando de forma conjugada a redução das quantidades ingeridas (Forbes, 1993). De forma concomitante, o consumo de água acompanha de forma sinérgica o consumo de alimento (Beede e Collier, 1986; Silanikove, 1992)

A variação das condições ambientais é susceptível de proporcionar alterações na ingestão voluntária. Perante o stresse psicológico, os animais respondem com uma redução da ingestão mais ou menos pronunciada, dependente da severidade e duração dos estímulos negativos e da reactividade intrínseca dos animais (Moberg, 1987; Boissy e Bouissou, 1988).

Perante alterações no ambiente térmico, o frio determina normalmente aumentos na ingestão enquanto que sob influência do calor se verificam predominantemente diminuições (Johnson *et al.*, 1967; Morrison e Lofgreen, 1979; Collier *et al.*, 1982; Baccari Jr. *et al.*, 1983; Webster, 1983; Berbigier e Sophie, 1986; Singh e Bhattacharya, 1991; West, 1999). A magnitude do aumento da temperatura ambiente, o intervalo de tempo a que os animais a ela estão sujeitos, as amplitudes térmicas dos ciclos diurnos e nocturnos e a tolerância ao calor intrínseca a cada animal, são factores que influenciam directamente o grau de decréscimo da ingestão (Richards, 1985; Berbigier e Sophie, 1986; Sprinkle *et al.*, 2000).

A estimulação dos termossensores situados na periferia e nas vísceras interferem directamente e de forma conjugada no hipotálamo, que por sua vez modela uma resposta coerente com vista à paragem da ingestão. Esta resposta, desencadeada por via nervosa, é inicialmente transitória e apresenta, no curto prazo, uma estrita dependência da capacidade em aumentar rapidamente a velocidade de dissipação de calor. As paragens na ingestão tendem a acentuar-se caso as vias de termólise sejam menos eficientes e se constate a tendência para maiores armazenamentos de calor (Bianca, 1965; Colditz e Kellaway, 1972; Frisch e Vercoe, 1977). O aumento da temperatura corporal influencia também a motilidade gástrica, principalmente a do retículo-rúmen, com uma diminuição da frequência e da intensidade das contracções. Todavia, as consequências no processo de ruminação são menores e mais notórias no stresse térmico pelo frio (Christopherson, 1984).

A diminuição da ingestão ocorre preferencialmente em dietas de menor digestibilidade e de menor degradabilidade. A presença de maior quantidade de fibra implica um esforço suplementar da flora ruminal, com diminuição da eficiência do processo. Por outro lado, o maior intervalo de tempo necessário

à fragmentação e colonização da fibra alimentar origina uma menor velocidade de escoamento da ingestão do rúmen. Concomitantemente verifica-se também uma redução da taxa de passagem da ingestão ao longo de todo o tracto gastro-intestinal, consequência das reduções no peristaltismo devido à menor intensidade da estimulação parassimpática e ao menor fluxo sanguíneo local. Esta conjugação ocasiona um baixo turnover e uma precoce repleção ruminal e por consequência um reforço para a diminuição da ingestão (Silanikove, 1992).

Christopherson (1984) refere que quando a temperatura aumentou de 18°C para 32°C, a permanência do alimento no tracto digestivo de bovinos aumentou de 36,6 horas para 42,3 horas. A maior permanência do alimento no rúmen, apesar de limitar a ingestão, pode apresentar a vantagem parcial de aumentar a digestibilidade dos alimentos. No entanto, esses eventuais efeitos benéficos não conseguem compensar totalmente os efeitos negativos de repleções ruminais mais prolongadas (Johnson, 1985).

O ambiente ruminal também é susceptível de ser alterado devido em boa parte à tendência para um diminuição do pH. Na verdade, devido à polipneia térmica, pode verificar uma tendência para a diminuição da pressão parcial do CO₂, originando em alguns casos alcalose respiratória. Nos ruminantes, a perda de carbono resultante da crescente ventilação alveolar reduz a quantidade de substratos tamponados veiculados pela saliva, que pode equivaler a 3,3 Kg de bicarbonato (Collier *et al.*, 1982). O menor fluxo sanguíneo ao nível dos vasos entéricos sugere também a possibilidade, não definitivamente comprovada, de ineficiência na taxa de absorção dos nutrientes (Silanikove, 2000).

A ingestão de água em situação de stresse térmico aumenta consideravelmente. Ao contrário do que acontece em termoneutralidade, em que as ingestões de alimento e de água apresentam correlações positivas, em stresse térmico estas são negativas (West, 1999; Silanikove, 2000). O aumento na ingestão de água serve em boa parte para fazer face às maiores necessidades hídricas para a termólise latente. Além disso, água que é ingerida a uma temperatura abaixo do núcleo de corpo promove um arrefecimento adicional do animal, que é tanto maior quanto maior o gradiente térmico entre as temperaturas do corpo e da água ingerida. Este efeito é referido por vários autores que observaram melhores consumos de alimento e melhores desempenhos produtivos em animais ingerindo maior quantidade de água refrigerada (Kelly *et al.*, 1955; Lofgreen *et al.*, 1975; Nicol e Young, 1989; Purwanto *et al.*, 1996; West, 1999).

A resposta do aparelho digestivo induzida pelo ambiente, é apenas parte de uma resposta sistémica do animal ao stresse térmico que permite suportar de forma coerente as alterações na dieta ingerida de acordo com a alteração dos patamares metabólicos (Christopherson, 1984).

Decorrente do processo de aclimação ou de aclimatação, verificam-se ajustamentos nos parâmetros sanguíneas. Nos animais sujeitos a stresse térmico, os valores do hematócrito permitem estabelecer uma relação entre a termorregulação e o metabolismo hídrico. O crescente protagonismo da termólise latente implica uma necessidade suplementar de água de forma a garantir simultaneamente a manutenção de níveis superiores de dissipação de calor evaporativo e a manutenção dos níveis de hidratação fisiologicamente adequados. Sob o efeito do stresse térmico, as alterações nos valores do hematócrito reflectem desajustamentos no balanço da água ingerida e utilizada (Silanikove, 1992). Estas alterações são muito heterogéneas, tanto no sentido da variação como na sua magnitude. As razões subjacentes a essas discrepâncias estão associadas à disponibilidade de água, à duração e intensidade do stresse térmico e a factores genéticos e individuais. Encontram-se com frequência referências tanto a aumentos como a diminuições nos valores do hematócrito (Berbigier *et al.*, 1987). Todavia, muitos destes

resultados não podem ser comparados linearmente. Frequentes aumentos dos valores do hematócrito referidos na bibliografia reflectem essencialmente situações de incapacidade de compensação hídrica, ou casos em que se verifica uma clara restrição hídrica (Schneider *et al.*, 1988). Na verdade, na primeira fase de stresse térmico parece ocorrer uma fase de desidratação transitória que deriva de uma incapacidade para suprir, num curto intervalo de tempo, as maiores necessidades de água (Seif *et al.*, 1972; Berbigier *et al.*, 1987). Nestes casos, a redução do volume plasmático estimula a libertação da hormona antidiurética, que conduz à maior reabsorção renal e à maior concentração urinária. Os fluidos extracelulares difundem-se para os compartimentos vasculares através das pressões osmótica e oncotíca de forma a manter o volume plasmático próximo dos valores normais (Eckert *et al.*, 1997; Schmidt-Nielsen, 1997; Silanikove, 2000). Esta situação pode manter-se ou mesmo agravar-se quando os animais são confrontados com severa restrição hídrica (Schmidt *et al.*, 1980; Wilson, 1989; Silanikove, 1992).

Nas condições de stresse térmico crónico com água *ad libitum*, é comum encontrarem-se diminuições no valor do hematócrito, os quais estão normalmente associados a elevadas ingestões de água. Contudo, parece verificar-se a tendência para que estes valores tendam para a situação de normalidade à medida que decorre o processo de aclimatação (Silanikove, 2000). No início as perdas suplementares de água promovem um aumento variável da osmolaridade dos fluidos corporais. A hipertoniciade estimula os osmoreceptores hipotalâmicos e o aumento da ingestão de água (Alnaimy *et al.*, 1992; Louw, 1993). Verifica-se um restabelecimento do equilíbrio hídrico corporal, associado a uma influência positiva e transitória no balanço térmico devido à perda de calor pelo corpo proporcionado pelo aquecimento da água ingerida (Lofgreen *et al.*, 1975; Nicol e Young, 1989). Esta situação tende a favorecer o aumento da frequência de abeberamento, originando ingestões totais de água acima das necessidades. As consequências são o aumento da água total do animal, a diminuição da osmolaridade dos fluidos corporais e a diminuição do hematócrito. O maior volume de água, presente tanto nos vasos sanguíneos quanto no espaço intersticial, é utilizada preferencialmente para aumentar os níveis de termólise evaporativa (Seif *et al.*, 1972; Berbigier *et al.*, 1987; Alnaimy *et al.*, 1992).

Numerosos trabalhos referem, por outro lado, a componente genética como determinante na variabilidade do hematócrito, salientando apreciáveis diferenças entre as raças e entre os indivíduos dentro da mesma raça (Berbigier, 1988; Alnaimy *et al.*, 1992;), registando-se a tendência para maiores valores de hematócrito nas raças zebuínas, sendo sugerido que tal superioridade poderia estar associada a uma maior tolerância ao calor (Bianca, 1965). Porém, a heterogeneidade dos valores observados dentro de cada espécie e de cada raça não permite ilações tão definitivas (Post, 1965; Silanikove, 1992).

Em condições de stresse térmico, devido às reduções na ingestão alimentar e da própria acção directa do aumento da temperatura corporal no funcionamento das gónadas, são frequentes as situações de ineficiência reprodutiva, tanto em fêmeas como em machos. Sob temperaturas elevadas, a eficiência reprodutiva é afectada nas fêmeas principalmente por dois factores: ausência ou detecção ineficiente do estro e insucesso nas inseminações ou monta natural (Johnston *et al.*, 1963; Fuquay, 1981; Chemineaur, 1993). Um dos efeitos referidos com maior frequência é a redução da taxa de concepção. No entanto, importa considerar que muitos destes trabalhos são realizados em clima tropical, onde as interacções entre o stresse térmico e a baixa quantidade e qualidade do alimento, podem confundir as relações entre as causas e os efeitos (Johnston *et al.*, 1963; Roman-Ponce *et al.*, 1978; Fuquay, 1981; Head, 1989;

Chemineaur, 1993).

Em trabalhos realizados na Flórida, acompanhando mais de 6000 inseminações em vacas leiteiras das raças Frísia, Jersey e Parda Suiça, verificou-se que, nos meses de verão, a taxa de concepção diminuiu em 39%, 45% e 41%, respectivamente, suspeitando-se de cíos anovulatórios e de morte precoce embrionária (Badinga *et al.*, 1985). É frequentemente referido que a temperatura máxima nos dias que antecedem e que seguem a inseminação está negativamente relacionada com a taxa de concepção (Thatcher, 1989). A influência das elevadas temperaturas na duração do período de estro é evidente, podendo determinar reduções superiores a 10 horas. Os sinais na mucosa vulvar são também menos aparentes e o comportamento reprodutivo bastante mais atenuado (Gilad *et al.*, 1993).

As alterações metabólicas, desencadeadas no processo de aclimatação, promovem também alterações nos níveis das hormonas associadas à função reprodutora. Com efeito, os níveis de progesterona mantêm-se bastante mais elevados, enquanto que os picos da hormona luteinizante são menores e mais circunscritos no tempo (Roman-Ponce *et al.*, 1976). A ausência de medições frequentes e o carácter pulsátil destas hormonas podem por vezes introduzir algumas inexactidões.

As relações anormais entre os níveis de progesterona e de estradiol podem determinar durante o proestro um desenvolvimento folicular insuficiente e por consequência uma menor exuberância dos sinais do estro. No entanto, após a ovulação, caso esta ocorra, a menor secreção hormonal do corpo lúteo pode originar que o ambiente, no oviducto e no endométrio, seja menos propício para a fecundação e posterior nidificação (Roman-Ponce *et al.*, 1978; Gilad *et al.*, 1993). Durante o stresse térmico é frequente uma menor irrigação sanguínea do endométrio, o que dificulta ainda mais a nidificação e o desenvolvimento do ovo, aumentando bastante a morte precoce embrionária (Roman-Ponce *et al.*, 1978).

No macho verifica-se com alguma frequência uma diminuição da qualidade do sémen, onde é observado menor volume do ejaculado, aumento das formas anormais e menor motilidade e capacidade de sobrevivência dos espermatozoides (Johnston *et al.*, 1963). Silva e Casagrande (1976) citados por Silva (2000) verificaram em 130 touros, de 6 raças diferentes de zebus, que temperaturas acima de 33°C, nas 3 semanas que antecediam as colheitas de sémen, influenciavam negativamente a espermatogénesis. Registou-se uma tendência significativa para um menor volume de ejaculado e uma maior proporção de espermatozoides com morfologia anormal. Estes resultados confirmaram que a influência nefasta das altas temperaturas na fisiologia reprodutiva também ocorre em animais mais adaptados ao calor.

A diminuição da termogénese inerente ao processo de aclimatação implica também uma alteração nos níveis metabólicos, em que as hormonas da tireoide desempenham um papel relevante interferindo tanto ao nível celular como na acção permissiva que estabelecem de forma sinérgica ou antagonista com várias hormonas (Yousef *et al.*, 1985; Hadley, 2000). A monitorização das hormonas da tireoide em estudos de stresse térmico e de tolerância ao calor remonta há algumas décadas. Alicerçou-se na premissa de que a termogénese é directamente influenciada pelos níveis plasmáticos da triiodotironina¹ (T_3) e da tiroxina² (T_4). Parecem exercer um amplo e variado número de acções e efeitos biológicos que, em termos gerais, indicam um papel primordial no metabolismo energético (Hadley, 2000).

Esta regulação pode ser exercida ao nível genómico, modulando a síntese de enzimas essenciais e de proteínas estruturais. A sua influência parece também ser exercida no metabolismo intermédio,

¹ 3,5,3'-triiodotiroina

² 3,5,3',5'-tetraiodotironina

designadamente na regulação hepática da conversão do malato em piruvato, interferindo na reacção chave para produção de NADPH. Ao nível mitocondrial, desempenham um papel importante na regulação da actividade de algumas enzimas que participam na actividade fosforilativa, aumentando a actividade da bomba dependente da Na/K ATPase, que promove o transporte através da membrana plasmática. Indirectamente, exercem um efeito sinérgico com outras hormonas calorígenicas, designadamente a somatotrofina, potenciando a sua acção (McNabb, 1995). Vários trabalhos apontam que estes mecanismos podem funcionar em simultâneo, salientando que o papel fulcral das hormonas da tireoide parece ser o controle da termogénesis obrigatória, através da sua ligação com receptores específicos nas mitocôndrias e nos núcleos celulares dos tecidos, envolvendo a actividade da bomba de sódio/potássio. A estes efeitos acresce ainda a sua acção sobre as catecolaminas. O efeito termogénico das catecolaminas diminui no hipotiroidismo e aumenta no hipertiroidismo (Hadley, 2000; Silva, 2000).

A coordenação de todo o processo é efectuada pelo hipotálamo que, através do factor de libertação da tirotrofina, determina qual a quantidade de tirotrofina a ser libertada na corrente sanguínea. Perante a elevação da temperatura ambiente, a magnitude da diminuição dos níveis das hormonas da tireoide estão dependentes dos respectivos níveis basais que ocorrem em termoneutralidade. Estes valores são contudo bastantes variáveis entre raças. Bianca (1965) refere uma actividade superior da tireoide nos animais da raça Hereford relativamente aos animais da raça Brahman, presente em termoneutralidade. Também as raças de aptidão leiteira tendem a apresentar valores superiores aos das raças de aptidão carne. Na verdade, a maior actividade da tireoide parece estar associada a uma elevada intensidade metabólica, embora esta tendência nem sempre se manifeste de forma inequívoca (Post, 1965). Nos trópicos, os níveis plasmáticos da T₄ são normalmente superiores nos *Bos indicus* relativamente aos *Bos taurus*. Os menores valores observados nas raças de climas temperados, parecem ser o resultado de decréscimos acentuados decorrentes da aclimatação (Yousef e Johnson, 1966b; Yousef et al., 1985).

As relações cruzadas que se estabelecem entre as temperaturas ambiente e os níveis hormonais dos animais das várias raças são demasiado heterogéneas para se poderem prever as diminuições dos níveis hormonais perante um determinado aumento da temperatura ambiente. Os resultados das alterações dos níveis das hormonas da tireoide devem ser vistos com alguma precaução. Um aumento ou diminuição das suas concentrações sanguíneas pode ser o resultado de variações na taxa de secreção, na taxa de utilização ou de alterações do volume sanguíneo (Ingram e Mount, 1975).

O aumento da temperatura corporal induz indirectamente uma menor estimulação da tireoide, devido à inibição do hipotálamo que conduz normalmente a um decréscimo da secreção de factores de libertações da tirotrofina (Berman, 1968; Muller et al., 1994a). Contudo, em alguns casos, constata-se que os níveis de tirotrofina permanecem constantes, enquanto que, simultaneamente, se observam diminuições nos níveis de T₃ e T₄. Tal parece indicar uma influência directa da temperatura corporal no metabolismo da própria tireoide (Magdub et al., 1982). A estimulação da inervação simpática da tireoide exerce uma acção inibidora e refractária face à tirotrofina proveniente da adenohipófise, estimulando por outro lado a conversão da T₄ para T₃ (Pisarev et al., 1985 citado por Silva, 2000).

Em muitas espécies a T₃ é a hormona fisiologicamente mais activa na regulação da actividade celular. No entanto, a T₄ parece exercer um efeito mais marcado nos mecanismos de *feed-back* negativo. A acção da T₄ no mecanismo de *feed-back* da produção hipofisária de tirotrofina, deriva do controle que

esta exerce na síntese do factor de liberação da tirotropina no hipotálamo, ao regular a expressão do gene do factor de liberação da tirotropina na área tirotrófica do hipotálamo. O efeito do *feed-back* negativo da T_4 na síntese do factor de liberação da tirotropina é específico para os neurónios produtores deste factor localizados na divisão medial no núcleo paraventricular. Outros neurónios que produzem o mesmo factor de liberação noutras locais do hipotálamo não são afectados por alterações do estado fisiológico da tiróide (Hadley, 2000). Dado que 90% da T_4 provém directamente da tiróide, o ritmo circadiano da secreção da T_4 parece representar melhor os níveis de secreção da tiróide (Hadley, 2000).

O ritmo de secreção e os níveis circulantes da T_3 dependem em boa parte da monodesiodação periférica da T_4 , cujo processo é regulado extrinsecamente à tiróide. Cerca de 80% da T_3 periférica deriva deste processo (Bitman *et al.*, 1994). Esta via de regulação, que é em boa parte dependente da quantidade periférica da T_4 , determina a ocorrência mais precoce de alterações nos níveis da T_3 , contrastando com uma maior inércia relativamente aos níveis de T_4 . Alguns autores referem por isso que os níveis de T_4 parecem não fornecer informações suficientemente precisas nos casos de stresse térmico moderado ou de pequena duração. Estas condicionantes sugerem que a análise da T_3 é susceptível de proporcionar uma informação mais relevante em estudos mais circunscritos no tempo, aliando a informação da T_4 em estudos de duração mais prolongada (Bitman *et al.*, 1994; Muller *et al.*, 1994a).

A relação entre as hormonas da tiróide e a ingestão alimentar é complexa. Os efeitos directos do stresse térmico na ingestão e na actividade da tiróide e ainda a relação directa entre o nível de ingestão e as hormonas da tiróide, podem suscitar algumas dificuldades na interpretação dos resultados. Tal poderia indicar que a diminuição dos níveis das hormonas da tiróide seria uma consequência previsível da diminuição da ingestão. Na verdade, vários estudos demonstram que a diminuição da concentração das hormonas da tiróide não é uma consequência primária da diminuição da ingestão, mas antes uma inibição própria resultante de processos neuro-endócrinos complexos. No entanto, as diminuições dos níveis das T_3 e das T_4 vêm reforçar a tendência para a continuada diminuição da ingestão (Christopherson *et al.*, 1979). O que parece ocorrer é que os níveis de T_4 também são influenciados pelo consumo de energia e são provavelmente muito importantes na adaptação a diferentes níveis nutricionais (Riis, 1983).

As T_3 e T_4 apresentam frequentemente um padrão circadiano consistente, com valores máximos no final do dia e mínimos no início da manhã (Bitman *et al.*, 1994). Pequenos ciclos de T_4 foram demonstrados em bezerros, os quais não foram associados à ingestão de alimentos. Não parece haver razões para acreditar que as alterações nos níveis de T_4 desempenhem um papel directo e relevante na variação diurna da absorção de nutrientes (Hadley, 2000).

Os efeitos das hormonas da tiróide parecem ser permissivos na forma como afectam o crescimento e o apetite. Ao influenciarem os níveis de somatotrofina, influenciam indirectamente os níveis de somatomedinas. A frequente incapacidade das hormonas da tiróide, quando veiculadas por via exógena, de restaurarem os níveis de crescimento normal em animais com hipotiroidismo, pode estar relacionada com uma refracção dos tecidos à estimulação das somatomedinas (Lawrence e Fower, 1997).

As hormonas da tiróide apresentam uma actividade sazonal, sendo frequente registarem-se decréscimos nos níveis plasmáticos durante os meses de verão. Todavia, em animais em pastoreio, o efeito da qualidade da pastagem sobrepõe-se frequentemente aos da temperatura ambiente. Forragens mais fibrosas parecem influenciar negativamente os valores de T_3 e T_4 , embora esse efeito pareça ser superior em condições de temperaturas elevadas (Magdub *et al.*, 1982).

A importância das hormonas da tireoide na aclimação/aclimatação é por isso fundamental na adequação dos níveis de metabolismo de acordo com a manutenção de um equilíbrio térmico mais favorável.

Para avaliar a magnitude das reacções das raças face ao aumento da temperatura do ar foi delineado um procedimento experimental, onde cada animal foi sujeito a períodos intercalados de termoneutralidade e de temperatura elevada. O controlo rigoroso dos parâmetros ambientais permitiu uma variação controlada da temperatura e humidade relativa do ar, possibilitando evidenciar as eventuais diferenças nas reacções fisiológicas face às temperaturas elevadas. Ao prolongar o período de tempo sob influência destas temperaturas distinguem-se as situações de estresse térmico agudo e de médio-longo prazo e possibilita-se ainda a comparação da evolução dos processos de aclimação dos vários genótipos.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Câmaras Climáticas - Características e Funcionamento

A experiência foi realizada nas câmaras climáticas da Estação Zootécnica Nacional. As 2 câmaras climáticas existentes, com uma área aproximada de 45 m² cada, têm capacidade para alojar 6 bovinos adultos. Apresentam uma completa autonomia funcional, com controle individual da temperatura, humidade, velocidade do ar e com possibilidade de recurso à aspersão.

As temperaturas das câmaras são controladas através de um caudal de ar variável e mais ou menos aquecido. O ar entra nas câmaras por aberturas situadas ao longo do seu plano longitudinal, a cerca de 2,8 m do solo.

O aquecimento do ar é providenciado por uma caldeira a gás, enquanto que o arrefecimento se processa através da passagem do ar por serpentinhas refrigeradas.

O controle da humidade do ar é efectuado por intermédio de desumificadores ou pela entrada de vapor de água no sistema.

Os parâmetros ambientais das câmaras são estabelecidos individualmente através de um centro de controle existente no exterior. A manutenção dos parâmetros seleccionados é realizada pela interacção entre os sensores localizados à entrada e à saída de cada uma das câmaras. Este sistema de controle, conjugado com a possibilidade de se poder variar o volume e a temperatura do ar circulante, permitiu a manutenção dos valores ambientais previamente definidos.

O sistema apresentou respostas rápidas e precisas às alterações térmicas solicitadas. A inércia térmica foi baixa, as temperaturas das câmaras estabilizavam nos valores requeridos em menos de 1 hora.

3.2.2. Animais

Em toda a sequência de experiências foram utilizados os mesmos 22 bovinos fêmeas de 4 raças distintas: Alentejana (6), Frísia (6) Limousine (4) e Mertolenga (6).

Devido às características das experiências, foi necessário estabelecer um programa de habituação dos animais aos operadores e ao manejo a que iriam ser sujeitos, visando a minimização das interferências

do stresse de manuseamento. Este processo decorreu durante 3 meses e comportou várias fases. Numa primeira fase, foram colocadas cabeças nos animais, seguindo-se a fase de manuseamento directo, simulando as operações previstas durante as experiências. Na última fase, com duração de 10 dias, os animais permaneceram presos à manjedoura, num sistema semelhante ao das câmaras climáticas e que serviu de adaptação à fase da experiência realizada nas câmaras climáticas.

Os animais da raça Frísia, por terem sido comprados exclusivamente para a realização das experiências, só foram incorporados no grupo no final da segunda fase.

Antes do início do período experimental, de acordo com as avaliações realizadas, foi inequívoco que todos os animais estavam totalmente habituados não apenas com os operadores mas também com o tipo de alimentação e com o manejo adoptado.

Antes do trabalho experimental e com uma periodicidade anual, foram retiradas amostras de sangue para pesquisa de tuberculoses, brucelose e leucose. Todos os animais foram vacinados anualmente contra o carbúnculo hemático e enterotoxémia. As desparasitações internas e externas ocorreram com a periodicidade de 6 meses.

No início da experiência as novilhas das raças Alentejana, Frísia, Limousine e Mertolenga, apresentavam pesos médios de $340,1 \pm 19,4\text{kg}$, $289,1 \pm 16,9\text{kg}$, $389,7 \pm 38,9\text{kg}$ e $235,3 \pm 28,8\text{kg}$, respectivamente.

3.2.3. Esquema experimental

O período de recolha de dados teve a duração de 13 dias com a existência de três fases distintas: a primeira e a terceira de termoneutralidade (TN1 e TN2) e uma fase intermédia com temperaturas elevadas (ST). Na figura 3.2. estão resumidas as fases e os principais eventos ocorridos ao longo dos 13 dias do ensaio.

Dias	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fase		TN 1			ST					TN 2				
Eventos	E		S1			S2		S3			S4			

E - Entrada dos animais

S - Recolhas de sangue

TN - Termoneutralidade

ST - Temperatura elevada

Fig. 3.2. Calendário do período experimental

Durante as fases de termoneutralidade a temperatura foi mantida constante a $16,5 \pm 1^\circ\text{C}$ e com humidade relativa de $45 \pm 2\%$. Na fase de temperaturas elevadas, foi programado um ciclo de temperaturas, tentando simular as condições exteriores. Durante o período das 16:30h às 8:00h a temperatura permanecia a $28,5 \pm 1^\circ\text{C}$ e com $60 \pm 2\%$ de humidade relativa. Após as 8:00h a temperatura subia para os $36 \pm 1^\circ\text{C}$, estabilizando após 40 minutos, com a humidade relativa próxima dos 45%. Estas condições permaneciam inalteráveis até às 16:30h, altura em que se reprogramava a temperatura para o período nocturno.

O fotoperíodo foi uniformizado para 12 horas em todas as fases da experiência. As lâmpadas eram

acesas às 8 horas e apagadas às 20horas.

Devido às duas câmaras climáticas possuírem no seu conjunto apenas 12 lugares, a experiência foi executada em dois períodos diferentes. No primeiro período foram utilizados 12 animais (6 em cada câmara) e no segundo período 10 animais (5 em cada câmara). O procedimento experimental foi o mesmo em ambos os períodos. A escolha e distribuição dos animais pelas câmaras foi aleatória, tendo como critério que todas as raças estivessem presentes em ambas as câmaras e em ambos os períodos. Os animais foram alojados em compartimentos individuais, presos por uma cabeçada, num sistema de prisão tipo suíço. Cada animal tinha à sua disposição comedouro, bebedouro e bloco mineral individuais. O bebedouro automático estava ligado a um contador AHS® com precisão de 0,01l. Nos cubículos onde os animais permaneciam o piso estava coberto por um tapete de borracha, que se estendia até à zona de dejectos, permitindo um maior conforto ao animal quando deitado.

A limpeza das câmaras, complemento das pequenas limpezas efectuadas ao longo do dia, foi efectuada às 16:00h, imediatamente após a retirada dos comedouros para se efectuar a pesagem das sobras. As limpezas foram executadas de forma a minimizar as perturbações nos níveis de temperatura e humidade das câmaras e na tranquilidade dos animais.

3.2.4. Alimentação

Os animais foram alimentados sempre com a mesma dieta, tanto durante a fase de adaptação no exterior das câmaras, como durante o período experimental nas câmaras. A dieta fornecida ao animais foi constituída por 85% de silagem de milho e 15% bagaço de girassol. Os constituintes da dieta foram misturados imediatamente antes de serem distribuídos aos animais.

Durante os períodos (de adaptação e experimental) os animais foram alimentados *ad libitum*. O alimento foi distribuído duas vezes ao dia às 8:30h e 16:00h. Quando das distribuições do alimento as sobras das refeições anteriores eram previamente retiradas e pesadas em balança digital com sensibilidade de 10g. Simultaneamente, foram efectuadas as leituras dos contadores da água visando a quantificação da ingestão individual. As ingestões diárias de alimento e de água resultaram do somatório dos montantes ingeridos entre às 8:30h e as 16:00h e entre as 16:30h às 8:00h do dia seguinte. As ingestões de água e de alimento foram calculadas por peso vivo metabólico ($P_{met} = P_{vivo}^{0,75}$).

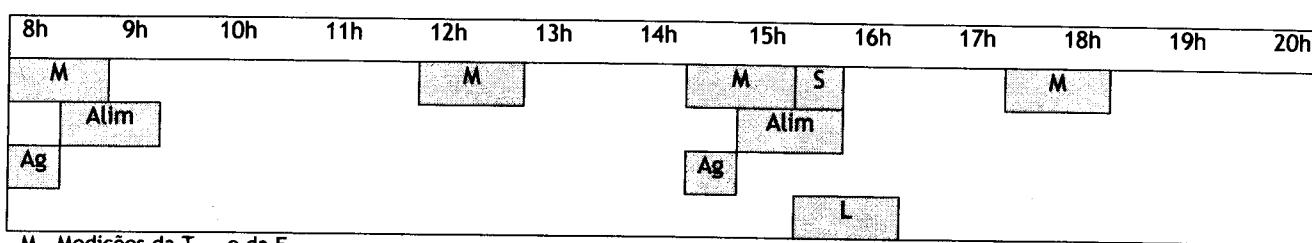
3.2.5. Medições e colheitas de amostras

Ao longo dos 13 dias da experiência foram efectuadas medições diárias da frequência respiratória (F_{resp}) e temperatura rectal (T_{rect}), às 8:00h, 12:30h, 15:30h e 18:30h. Na Fig. 3.3. são apresentados os procedimentos diários.

A frequência respiratória foi obtida por observação directa do movimento da região das costelas durante 30 segundos. As medições foram sempre realizadas pelo mesmo operador e foram confirmadas por 3 observações adicionais sempre que os resultados apresentavam alguma dúvida.

A temperatura rectal foi obtida através de termómetro clínico digital marca Artsana® com sinalização

sonora após a estabilização da temperatura máxima e com precisão de 0,01°C.



M - Medições da T_{rect} e da F_{resp}

S - Recolhas de sangue nos dias 3, 6, 9 e 13

Alim - Pesagem das sobras e fornecimento de alimento

Ag - Medições das ingestões de água

L - Limpeza das câmaras

Fig. 3.3. Horário estabelecido para os diversos procedimentos diários

3.2.6. Amostras sanguíneas

Nas três fases da experiência foram recolhidas, por punção da jugular de cada animal, quatro amostras de sangue. As recolhas, realizadas às 13:00h, coincidiram com o final da primeira fase de termoneutralidade (TN1) (3º dia), no meio (ST1)e no final (ST2) da fase de temperaturas elevadas (6º e 9º dias) e no último dia do segundo período de termoneutralidade (TN2) e último da experiência (13º dia).

As amostras de sangue foram recolhidas em tubos Sarstedt™ Monovette EDTA-KE, ref. 05.1167.001 (1,6mg EDTA/ml sangue). Para a determinação do hematócrito, o plasma foi processado por Analisador Semi-Automático da marca Sysmex™ Modelo F800. Esta determinação baseia-se na alteração da voltagem produzida pela passagem das células cuja variação é proporcional ao volume celular.

Para a análise dos valores da triiodotironina (T_3), tiroxina (T_4) e do cortisol (C_{rt}), foram recolhidas amostras de sangue em tubos Sarstedt™ Monovete Serum Gel S ref. 01.1602. O soro foi obtido após centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos. Os parâmetros hormonais foram determinados através de um Analisador Automático Beckman™ modelo Acess Imunoassay System, que baseia o seu funcionamento no princípio da quimioluminiscência. Os kits comerciais que serviram para a determinação dos parâmetros hormonais foram o Acess Ref. 33830 para a triiodotironina total, o Acess ref. 33800 para tiroxina total e o Acess ref. 33800 para o cortisol.

3.2.7. Análises estatísticas

Devido à diversidade das variáveis em estudo e à forma como foram obtidas, estas foram analisadas de acordo com modelos específicos. Foram analisadas as respectivas estatísticas descritivas e as causas ou efeitos sistemáticos que sobre elas actuaram de forma a caracterizar cada variável associada a cada raça. As variáveis dependentes foram analisadas para avaliação da normalidade segundo o teste Cochran e da homogeneidade da variância segundo o teste Bartlett (Underwood, 1998). Todas as variáveis em estudo apresentaram distribuição normal e variância homogénea.

Dada a obtenção de resultados em diferentes câmaras climáticas e em períodos de tempo distintos foi necessária uma avaliação prévia da influência destes factores e respectivas interacções os valores das variáveis dependentes estudadas. Todas as variáveis dependentes foram assim estudadas através de

análises de variância ortogonal, segundo modelo geral linear, cujos factores fixos foram os dois períodos de tempo (P) e as duas câmaras (C), de acordo com modelo matemático-estatístico (Modelo I):

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + C_j + P.C_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} - valor observado das variáveis medidas no animal k-ésimo, no Período i-ésimo e na Câmara j-ésima; μ - Valor médio observado; P_i - Efeito fixo do Período i-ésimo; C_j - Efeito fixo da Câmara j-ésima; $P.C_{ij}$ - Interacção dupla do Período com a Câmara e ε_{ijk} - Erro aleatório ou valor residual de cada observação.

As análises de variância realizadas demonstraram a inexistência de diferenças significativas ($P>0,90$) em qualquer das variáveis dependentes relativamente aos factores de variação em questão e às respectivas interacções. Dessa forma, os valores provenientes das duas câmaras e dos dois períodos de tempo foram agrupados numa única amostra composta pelos 22 indivíduos das 4 raças.

As variáveis T_{rect} e F_{resp} foram estudadas através de análise de variância hierárquica, com modelo geral linear, contemplando três factores fixos, a raça (R), fase do ensaio (F) e a hora nos dias (H) e um factor *nested* (A), correspondendo ao animal dentro da sua raça, segundo o modelo matemático-estatístico (Modelo II) expresso por:

$$Y_{ijklm} = \mu + R_i + R(A)_{i(j)} + F_k + H_l + R.F_{ik} + R.H_{il} + F.H_{kl} + R.F.H_{ikl} + \varepsilon_{ijklm}$$

em que : Y_{ijklm} - valor observado da T_{rect} ou da F_{resp} no animal j-ésimo, da raça i-ésima, na fase k-ésima e na hora l-ésima; μ - Valor médio observado, R_i - Efeito fixo da raça i-ésima; $R(A)_{i(j)}$ - Efeito *nested* do animal j-ésimo na raça i-ésima; F_k - Efeito fixo da fase de temperatura l-ésima; H_l - Efeito fixo da hora l-ésima; $R.F_{ik}$ - Interacção dupla da Raça com a Fase; $R.H_{il}$ - Interacção dupla da Raça com a Hora; $F.H_{kl}$ - Interacção dupla da Fase com a Hora; $R.F.H_{ikl}$ - Interacção tripla entre Raça, Fase e Hora e ε_{ijklm} - Erro aleatório ou valor residual de cada observação.

As variáveis I_{alim} , I_{ag} , $I_{alim}PV^{0,75}$ e $I_{ag}PV^{0,75}$, foram estudadas através de análise de variância hierárquica por modelo geral linear, contemplando dois factores fixos, designadamente a raça (R) e a fase do ensaio (F) e um factor *nested*, correspondendo ao animal dentro da sua raça, segundo o modelo matemático-estatístico (Modelo III) expresso por:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + R(A)_{i(j)} + F_k + R.F_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl} - valor observado das variáveis observadas I_{alim} , ou I_{ag} , ou $I_{alim}PV^{0,75}$ ou $I_{ag}PV^{0,75}$ no animal l-ésimo, da raça i-ésima e na fase k-ésima; μ - Valor médio observado; R_i - Efeito fixo da raça i-ésima; $R(A)_{i(j)}$ - Efeito do animal j-ésimo na raça i-ésima; F_k - Efeito fixo da fase de temperatura k-ésima; $R.F_{ik}$ - Interacção dupla da Raça com a Fase e ε_{ijkl} - Erro aleatório ou valor residual de cada observação

Os parâmetros sanguíneos(H_{tc}) e os hormonais (T_3 , T_4 e o C_{rt}) foram submetidas a análises de variância hierárquica, segundo modelo geral linear, com 2 factores fixos, a raça (R) e a data da colheita das amostras de sangue (D) e um factor *nested*, correspondendo ao animal dentro da sua raça, expresso pelo modelo matemático estatístico (modelo IV):

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + R(A)_{i(j)} + D_k + R.D_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl} - valor observado das variáveis observadas H_{tc} , T_3 e T_4 no animal k-ésimo, da raça i-ésima e na Data j-ésima; μ - Valor médio observado; R_i - Efeito fixo da raça i-ésima; $R(A)_{i(j)}$ - Efeito do animal j-

ésimo na raça i-ésima; D_k - Efeito fixo da Data l-ésima; $R.D._{ik}$ - Interacção dupla da Raça com a Data e ε_{ijkl} - Erro aleatório ou valor residual de cada observação.

Em todas as análises de variância foram considerados como valores significativos, aqueles cuja probabilidade de ocorrência foi superior a 95% ($P<0,05$). Sempre que se verificaram diferenças significativas nas análises de variância relativamente aos factores e às interacções, as respectivas médias foram comparadas pelo método de Student Newman-Keuls (SNK) (Underwood, 1998).

As variações médias da T_{rect} e da F_{resp} ao longo do dia foram analisadas para cada raça durante a fase de temperaturas elevadas através de equações de regressão. Para facilidade de comparação entre raças optou-se por um ajustamento segundo o modelo linear $Y = \alpha + \beta x$. Os valores provenientes das equações, foram posteriormente comparados através da análise das constantes α e dos coeficientes β (Zar, 1974).

Os resultados foram analisados utilizando os programas de estatística SPSS11.5 e o NCSS 2000.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Condições experimentais

Ao longo do período experimental nenhum animal exibiu qualquer comportamento que pudesse indicar uma situação de stresse de manuseamento. O alimento fornecido ao longo da experiência foi sempre bem aceite. Exceptuando os breves momentos que durava a recolha do sangue, os animais apresentaram-se tranquilos e quase indiferentes à presença humana.

As temperaturas e as humidades relativas registadas nas câmaras ao longo da experiência apresentaram-se dentro dos intervalos de variação previamente definidos. Durante a fase de temperaturas elevadas, em que foi estabelecido um ciclo de temperaturas, verificou-se sempre uma baixa inércia térmica das câmaras, proporcionando alterações rápidas para as novas temperaturas. Em nenhum animal foi observado qualquer sintomatologia que indicasse falência dos mecanismos termorreguladores.

Com vista ao cumprimento dos objectivos da experiência houve necessidade de gerir alguns compromissos relacionados com a quantidade e qualidade dos elementos recolhidos. De acordo com diversos estudos, as respostas às elevadas temperaturas passam por fases distintas: aguda, transitória e crónica, culminando com um novo equilíbrio que resulta das interacções entre os novos fluxos de calor, que entretanto se foram estabelecendo (Young, 1988; Alnaimy *et al.*, 1992). Considerando que se pretendeu avaliar as reacções imediatas às elevadas temperaturas e as repercussões destas na aclimação, optou-se por alongar a permanência dos animais nas câmaras climáticas. Porém, quando os animais se mantêm nas câmaras durante um maior período de tempo aumenta a probabilidade da ocorrência de stresse psicológico, o qual é susceptível de introduzir distorções relevantes nos elementos recolhidos, penalizando a sua exactidão e a confiança (Titto *et al.*, 1998).

Perante os condicionalismos espaciais e temporais, optou-se por uma situação que permitisse conciliar um período suficientemente longo para evidenciar as reacções fisiológicas ao stresse térmico e as diferenças decorrentes da aclimação, e por outro lado suficientemente curto para garantir um nível aceitável de bem estar aos animais minimizando os níveis de stresse psicológico.

A magnitude das variações dos valores fisiológicos face às altas temperaturas dependem em

grande parte dos valores individuais em termoneutralidade. Os bovinos tendem a apresentar alguma variabilidade individual nos valores fisiológicos normais da frequência respiratória, temperatura rectal e dos níveis hormonais (Finch, 1986; Hahn, 1999). Tendo em conta esta realidade, os animais permaneceram durante um período de tempo em termoneutralidade com vista à obtenção dos valores individuais de referência. Desta forma, as comparações apresentam maior rigor uma vez que cada animal é testemunha de si próprio, procedimento particularmente adequado quando o número de animais é reduzido (Webster, 1983).

Quando se pretende determinar os efeitos da temperatura elevada nos animais deve-se atender aos indicadores de stresse psicológico, de forma a evitar que os efeitos se possam confundir e que os resultados se tornem confusos. A activação do eixo hipotálamo-hipófise-supra-renais, com a consequente libertação de glucocorticóides (designadamente do cortisol), é talvez a resposta inespecífica mais importante que os animais apresentam perante uma grande variedade de estímulos negativos (Selye, 1975; Riis, 1983). Tendo como base este indicador foram avaliados os níveis de cortisol ao longo das fases da experiência, visando a avaliação de eventuais situações de stresse psicológico. Na tabela 3.1. são apresentados os valores do cortisol (C_{rt}) obtidos em cada raça e nas várias fases.

Tabela 3.1. Concentrações de cortisol ($\mu\text{g/dl}$) ($\bar{X} \pm Ep$)

Raças	TN1	ST1	ST2	TN2
Alentejana	1,00±0,28 ^A	1,04±0,28 ^A	1,06±0,28 ^A	1,32±0,28 ^A
Frísia	0,70±0,28 ^A	0,58±0,28 ^A	0,76±0,28 ^A	0,31±0,28 ^A
Limousine	1,27±0,30 ^A	1,41±0,30 ^A	1,59±0,30 ^A	0,85±0,30 ^A
Mertolenga	2,29±0,28 ^B	1,57±0,28 ^B	2,11±0,28 ^B	2,50±0,28 ^B

Os níveis de cortisol foram influenciados apenas pelo factor Raça. A raça Mertolenga exibiu concentrações significativamente superiores às restantes. A raça Frísia apresentou os menores valores, os quais foram diferentes daqueles apresentados pelas raças Mertolenga e Limousine. Não se registaram interacções significativas entre os factores de variação. Na Fig. 3.4. estão representadas as diferenças observadas nos valores médios das raças e nas fases e na Fig. 3.5. as amplitudes de cada raça e as fases em que ocorreram.

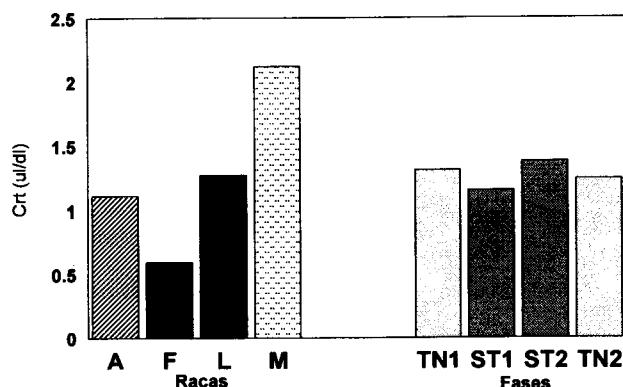


Fig 3.4. - Concentrações de cortisol

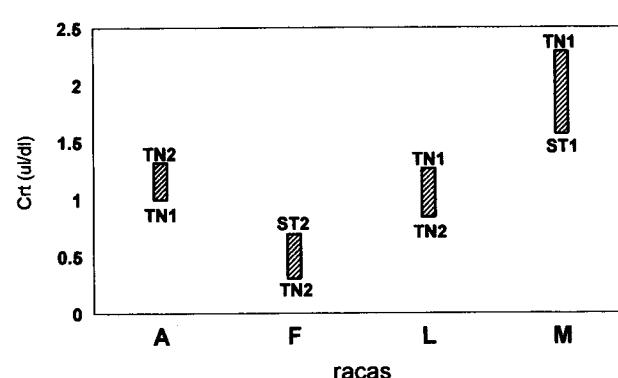


Fig. 3.5. - Amplitudes das concentrações de cortisol

Os valores mínimos e máximos do cortisol são bastante diferentes, tanto entre as raças como entre as fases em que ocorreram. No entanto, as elevadas temperaturas não influenciaram significativamente as

concentrações médias de cortisol de cada raça.

O stresse térmico determina numa primeira fase uma resposta inespecífica (com aumentos das concentrações de cortisol), desajustada num cenário em que se pretende reduzir a termogénese. Portanto, a resposta específica deve implicar uma redução dos níveis de cortisol, porventura abaixo dos basais. Em ungulados selvagens e domésticos constata-se uma elevada variabilidade nos níveis basais de cortisol, em relação à espécie, à raça e ao indivíduo (Fulkerson et al., 1980). É por vezes referida uma variação sazonal, em que os menores valores ocorrem nos períodos mais quentes (Ingram e Mount, 1975). Contudo, outros estudos têm constatado apenas algumas variações episódicas e sem um padrão consistente (Elvinger et al., 1992). As variações circadianas também apresentam grande heterogeneidade. É referida uma ritmocidade ultradiana diurna com uma frequência de 0,6 ciclos.h⁻¹ (Fulkerson et al., 1980), embora sejam também referidas apenas variações caóticas e dependentes de acontecimentos intrínsecos ou extrínsecos (Selye, 1975).

As concentrações de cortisol citados na bibliografia para os bovinos em situação de termoneutralidade apresentam valores muito dispare: 1,5-5,9 μ.dl⁻¹ (Jentsch et al. 1985), 0,82-2,5 μ.dl⁻¹ (Fulkerson et al., 1980) e 1,0-1,6 μ.dl⁻¹ (Wise et al., 1988). A raça parece ser um factor de variação importante, como parecem indicar os resultados (obtidos em termoneutralidade, 18°C), da raça Highland que exibiu valores médios bastante superiores aos da raça Black White (5,01 e 2,07 μ.dl⁻¹, respectivamente) (Derno et al., 1985).

Os valores obtidos nesta experiência vão ao encontro destas tendências, uma vez que a raça Mertolenga apresentou em todas as fases valores claramente acima das restantes. Face aos vários factores susceptíveis de influenciar os níveis basais de cortisol e as magnitudes das suas variações, os mesmos não podem ser considerados como indicadores confiáveis da capacidade de ajustamento às situações de stresse térmico, tanto agudo como crónico (Fulkerson et al., 1980; Alnaimy et al., 1992). Alguns autores têm mesmo questionado se o cortisol poderá ser utilizado para avaliar os níveis de stresse nas câmaras climáticas, ressalvando, no entanto, os casos em que os próprios animais servem de suas próprias testemunhas (Webster, 1983; Jentsch et al., 1985).

Face à gama alargada de valores referenciados como normais para os bovinos torna-se difícil distinguir uma situação de normalidade relativamente a outra que indicie uma situação de stresse. Para permitir a comparação entre as várias fases do ensaio e entre as várias raças, optou-se por escolher uma gama de valores que exibe maior consenso entre os vários autores: 0,82 e 2,64 μ.dl⁻¹ (Selye, 1975; Berbigier, 1988; Alnaimy et al., 1992), salientando-se no entanto que o stresse não é de todo um estado estável e muito menos uniforme.

Os valores obtidos nas raças em estudo evidenciaram uma elevada variabilidade, tanto entre as raças como entre indivíduos. Estes resultados corroboram com o referido por Alvarez e Johnson (1971), Fulkerson et al. (1980) e Jentsch et al. (1985). A inexistência de diferenças significativas nos níveis de cortisol dentro de cada raça ao longo da experiência pressupõe uma reacção uniforme dos animais ao longo de todo o período do estudo. Exceptuando a raça Mertolenga, verificou-se que as restantes raças permaneceram com níveis de cortisol dentro da gama considerada normal. Se se considerarem apenas os níveis de C_{rt} em termoneutralidade, parece não se ter verificado qualquer efeito que possa ser atribuído a stresse psicológico ou de manuseamento. Esta constatação parece reforçar a ideia que o manuseamento

precoce e continuado dos animais permite, de forma duradoura, a diminuição da sua reactividade face ao contacto humano, com reflexos no seu bem estar durante os períodos experimentais (Boissy e Bouissou, 1988; Boissy e Bouissou, 1991).

Aquando do regresso à termoneutralidade o retorno do cortisol aos níveis iniciais ocorre mais lentamente. Tal parece dever-se à influência da temperatura na velocidade de reajuste de outras hormonas associadas à aclimação/aclimatação, nomeadamente as hormonas da tireoide, a prolactina, a somatotrofina e a insulina (Alvarez e Johnson, 1971; Derno *et al.*, 1985; Wise *et al.*, 1988). Estas relações cruzadas originam, por vezes, alguns efeitos remanescentes, que se podem prolongar por um intervalo de tempo variável (Yousef e Johnson, 1967; Riis, 1983; Alnaimy *et al.*, 1992).

A raça Mertolenga foi a única que apresentou, ao longo do período de estudo, valores de cortisol que poderiam, porventura, indicar algum nível de stresse psicológico. No entanto, estes valores, embora mais elevados, mantiveram-se relativamente constantes. Estes valores superiores às restantes raças poderão ser explicados pela maior reactividade natural relativamente às restantes.

A forma como o animal integra os estímulos a que está sujeito baseia-se essencialmente numa reacção ao medo ou ansiedade, que interage com a duração do processo da selecção a que o animal foi sujeito e com a disposição individual (Boivin *et al.*, 1992; Ewing *et al.*, 1999). Animais com um processo de selecção mais recente apresentam, na maioria dos casos, uma maior reactividade. Os animais com temperamentos mais reactivos formam memórias de medo mais fortes. Num estado de ansiedade a memória de medo tende a reavivar-se com mais intensidade e desencadeia alterações fisiológicas e comportamentais (Boissy, 1998; Grandin e Deesing, 1998). Esta é a consequência de mecanismos de sobrevivência na natureza que se traduzem em memórias inatas e adquiridas mais presentes (Faure e Mills, 1998). Assim, esta maior reactividade poderá corresponder a níveis superiores de stresse psicológico latente, com o consequente aumento dos níveis de cortisol (Boissy e Bouissou, 1988). Por isso, a avaliação comportamental deverá complementar a informação fornecida pelos valores de cortisol (Moberg, 1987; Boissy, 1998).

Comparativamente com as demais raças, os animais da raça Mertolenga permaneceram mais alerta sempre que se registava algum movimento menos comum nas câmaras, algo contrastante com a completa indiferença exibida pelos animais das restantes raças. No entanto, apesar das diferenças intrínsecas a cada raça e a cada indivíduo, não foram observados comportamentos que evidenciassem sinais claros de stresse psicológico, como atitudes repetitivas, agressividade, diminuição do consumo de alimento ou apatia (Ewing *et al.*, 1999).

Face aos resultados observados, parece lícito afirmar que o eventual stresse psicológico a que os animais pudessem ter estado sujeitos durante o período experimental, não terá sido suficientemente intenso para interferir de forma determinante nas magnitudes das reacções fisiológicas e endócrinas específicas do stresse térmico.

3.3.2. Frequência Respiratória e Temperatura Rectal

A frequência respiratória (F_{resp}) e a temperatura rectal (T_{rect}) têm sido frequentemente utilizadas para escalar a tolerância ao calor em bovinos. A utilização da frequência respiratória como indicador

algo grosseiro da tolerância ao calor resulta essencialmente da facilidade com que é medida. Na verdade, esta situação reflecte algum equívoco: a F_{resp} , tal como a sudação, não são elas próprias o resultado estrito de um qualquer equilíbrio térmico mas vias termorreguladoras que reagem ao controle neurológico (Berbigier, 1988; Jessen, 2001).

Considerando as relações biunívocas que se estabelecem entre a F_{resp} e a T_{rect} ambas devem ser apresentadas em conjunto e discutidas de forma integrada. Possibilita-se, assim, uma melhor compreensão das reacções das várias raças ao aumento da temperatura ambiente e as relações que estas estabelecem com o processo de aclimação. O aumento da F_{resp} como mecanismo de termólise latente, será abordada de forma mais detalhada em experiência sequente em conjunto com a taxa de sudação. Neste estudo, a F_{resp} é utilizada essencialmente como coadjuvante da T_{rect} na quantificação do stresse térmico das raças. As médias das F_{resp} e das T_{rect} obtidas ao longo do dia em cada fase para cada raça estão referidas na tabelas 3.2. e 3.3, respectivamente.

Tabela 3.2. - Frequências respiratórias (mov.min⁻¹) ao longo do dia ($\bar{X} \pm Ep$)

Fases	Horas Raças	8:00h	12:30h	15:30h	18:30h	(\bar{X})
TN1	Alentejana	33±3	37±4	35±3	35±3	35
	Frísia	38±3	40±4	38±3	38±3	38,5
	Limousine	40±4	36±6	38±4	33±4	36,75
	Mertolenga	32±3	34±4	30±3	32±3	32
ST	Alentejana	70±2 ^{aAB}	104±2 ^{bAB}	122±2 ^{cA}	87±2 ^{dAB}	95,75
	Frísia	82±2 ^{aB}	114±2 ^{bA}	131±2 ^{cB}	94±2 ^{dB}	105,25
	Limousine	72±3 ^{aAB}	100±3 ^{bB}	119±3 ^{cA}	79±3 ^{dAB}	92,5
	Mertolenga	66±2 ^{aA}	108±2 ^{bAB}	119±2 ^{bA}	79±2 ^{aA}	93
TN2	Alentejana	48±3	37±3	40±3	36±3	40,25
	Frísia	55±3	42±3	45±3	41±3	45,75
	Limousine	47±4	40±4	44±4	41±4	43
	Mertolenga	39±3	34±3	34±3	30±3	34,25

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método SNK).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças nas fases e dentro das horas (pelo método SNK).

As F_{resp} médias observadas em situação de termoneutralidade (TN1 e TN2) foram bastante semelhantes entre as raças.

A variabilidade dentro de cada raça também foi bastante reduzida, principalmente em TN1, aumentando ligeiramente em TN2. Nas Fig. 3.6., 3.7., e 3.8. estão representadas as médias e os desvios padrão de cada raça em cada fase. Em termoneutralidade não foram encontradas diferenças significativas nas F_{resp} observadas ao longo do dia. Esta uniformidade permite supor fluxos de calor estáveis entre os animais e o ambiente das câmaras, reforçando a ideia de que a variação circadiana da F_{resp} em situações de termoneutralidade é pequena (Hahn *et al.*, 2001). Os valores médios da F_{resp} observados nos animais (32-40 mov.min⁻¹) são algo superiores a alguns referidos na bibliografia, que tendem a variar entre 20-24 mov.min⁻¹ (a 14 °C) (Findlay, 1950) e 18-28 mov.min⁻¹ (14-20°C) (Singh e Bhattacharya, 1991; Baccari Jr., 2001), no entanto estes maiores valores podem estar relacionados com a idade jovem dos animais

(Berbigier, 1985; Armstrong, 1994).

Na fase de temperatura elevada (ST), foram observadas em todas as raças F_{resp} significativamente superiores relativamente às verificadas em TN1 e TN2.

Segundo Zia-Ur-Rehman *et al.* (1982), a F_{resp} é a variável que permite a identificação mais precoce do desconforto térmico entre as várias raças e entre os indivíduos da mesma raça face ao aumento da temperatura.

Tabela 3.3.- Temperaturas rectais ($^{\circ}\text{C}$) ao longo do dia ($\bar{X} \pm E_p$)

Fases	Horas Raças	8:00h	12:30h	15:30h	18:30h	(\bar{X})
TN1	Alentejana	38,58±0,07	38,68±0,08	38,73±0,07	38,70±0,07	38,67
	Frísia	38,59±0,07	38,73±0,08	38,76±0,07	38,86±0,07	38,73
	Limousine	38,51±0,07	38,50±0,11	38,59±0,08	38,73±0,08	38,58
	Mertolenga	38,44±0,07	38,52±0,08	38,55±0,07	38,67±0,07	38,54
ST	Alentejana	38,73±0,05 ^{aABC}	39,05±0,05 ^{BB}	39,47±0,05 ^{cB}	39,27±0,05 ^{cB}	39,13
	Frísia	38,95±0,05 ^{aC}	39,4±0,05 ^{BC}	40,03±0,05 ^{cD}	39,68±0,05 ^{DC}	39,51
	Limousine	38,86±0,06 ^{aB}	39,28±0,06 ^{BC}	39,77±0,06 ^{cC}	39,36±0,06 ^{BB}	39,31
	Mertolenga	38,46±0,05 ^{aA}	38,57±0,05 ^{aA}	38,76±0,05 ^{aA}	38,69±0,05 ^{aA}	38,62
TN2	Alentejana	38,58±0,06	38,55±0,06	38,59±0,06	38,76±0,06	38,62
	Frísia	38,58±0,06	38,43±0,06	38,61±0,06	38,56±0,06	38,54
	Limousine	38,65±0,07	38,51±0,07	38,61±0,07	38,64±0,07	38,60
	Mertolenga	38,48±0,06	38,42±0,06	38,45±0,06	38,61±0,06	38,49

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método SNK).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças nas fases e dentro das horas (pelo método SNK).

A F_{resp} média aumentou em todas as raças cerca de 2,7 vezes, indicativo do esforço realizado para aumentar a dissipação de calor latente. Estes resultados concordam com os referidos por Whittow (1962), Kibler (1964), Legates *et al.* (1991) e Muller e Botha (1993) tanto em câmara climática como a campo aberto e com bovinos de várias raças.

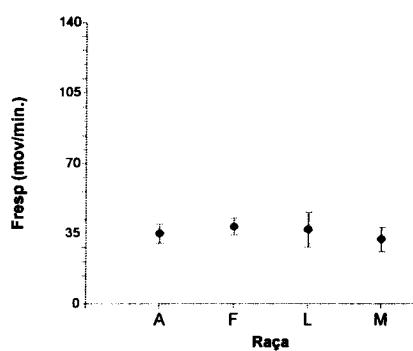


Fig.3.6.Frequências respiratórias em TN1 ($\bar{x} \pm \delta$)

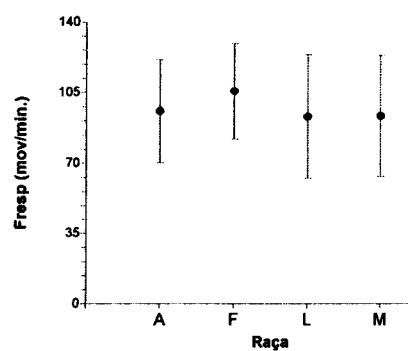


Fig.3.7.Frequências respiratórias em ST ($\bar{x} \pm \delta$)

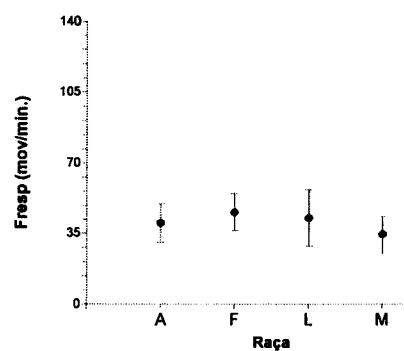


Fig.3.8.Frequências respiratórias em TN2 ($\bar{x} \pm \delta$)

A variação da F_{resp} evidenciou um padrão diário semelhante em todas as raças: começou a aumentar desde as 8:00h, atingindo o seu máximo às 15:30h. O seu decréscimo apenas ocorreu após a

redução da temperatura das câmaras às 16:30h. Apenas na raça Mertolenga se verificou a estabilização da F_{resp} entre as 12:30h e 15:30h, o que permite supor um maior equilíbrio entre os fluxos de calor. A raça Frísia exibiu valores de polipneia mais elevados, significativamente superiores às restantes, apresentando também os valores máximos às 15:30h ($131 \text{ mov}.\text{min}^{-1}$).

A diminuição da temperatura nas câmaras originou uma diminuição generalizada da F_{resp} . As F_{resp} às 18:30h foram significativamente inferiores às registadas às 15:30h. As F_{resp} observadas às 8:00h apresentaram algumas diferenças entre as raças: os máximos foram observados na raça Frísia ($82 \text{ mov}.\text{min}^{-1}$) e os mínimos na raça Mertolenga ($66 \text{ mov}.\text{min}^{-1}$). A menor F_{resp} da raça Mertolenga às 8:00h é um claro indício de que a diminuição da temperatura das câmaras durante o período nocturno (aproveitando o gradiente térmico mais favorável) lhe permitiu aumentar a dissipação de calor sensível, tornando menos necessário o recurso à polipneia. A manutenção de níveis adequados de sudação pode ter contribuído para o menor recurso à termólise pulmonar. Os valores de F_{resp} observados na raça Limousine às 8:00h parecem indicar um esforço continuado de termólise latente durante o período nocturno. A interacção entre a condutância e o gradiente de temperatura que se estabeleceu durante o período nocturno não foi suficiente para aumentar a velocidade de dissipação de calor para valores que permitissem uma menor dependência da polipneia térmica (McArthur, 1981; Berbigier *et al.*, 1987; Muller e Botha, 1993).

As correlações entre a temperatura ambiente (Tar) e a F_{resp} apresentaram coeficientes de correlação de 0,75, 0,78, 0,54 e 0,74, para as raças Alentejana, Frísia, Limousine e Mertolenga respectivamente. A raça Limousine apresentou um coeficiente claramente inferior às restantes. Vários estudos referem que, em condições semelhantes, os animais de maior massa corporal, ou de maior idade, tendem a apresentar variações mais lentas e menos acentuadas da F_{resp} face aos aumentos da Tar (Findlay, 1950; Schmidt-Nielsen, 1995). Hahn e Mader (1997) salientam que os animais de maiores dimensões tendem a apresentar níveis máximos de F_{resp} relativamente mais baixos, como atestam os resultados obtidos com vacas Holstein e Jersey que, a 27°C e a 32°C , exibiram valores máximos de 100-110 e 120-130 mov/min , respectivamente. Inferindo uma relação com a massa corporal, tendências semelhantes foram observados em várias raças de *Bos indicus* e *Bos taurus* (Cartwright, 1955; Amakiri e Funsho, 1979), contrastando com a ausência de diferenças registada por Spiers *et al.* (1994).

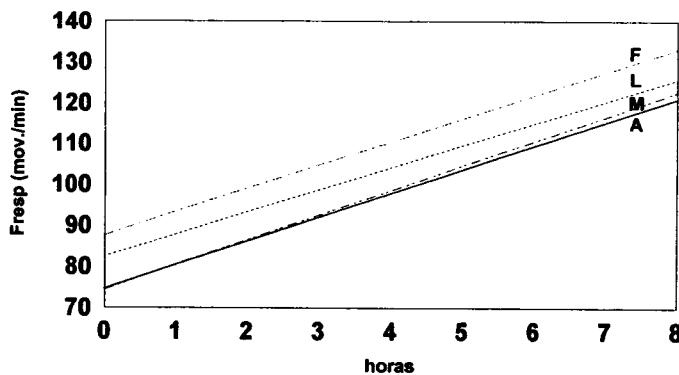
Os valores máximos de F_{resp} observados na raça Frísia, bastante acima das restantes, pressupõem um maior e mais continuado esforço de termólise. Situação que parece manter-se com alguma intensidade mesmo durante o período nocturno, contrastando com as outras raças que apresentaram valores matinais menos elevados.

As F_{resp} observadas nas várias raças foram relacionadas com o intervalo de tempo de 7,5 horas em que a Tar permaneceu mais elevada (Fig. 3.9.).

Os padrões apresentados por todas as equações foram semelhante, evidenciando aumentos da F_{resp} ao longo do tempo. Os valores dos declives das rectas foram inversamente proporcionais aos valores de F_{resp} ocorridos às 8:00h. As raças Alentejana e Mertolenga apresentaram os menores valores iniciais e, mesmo com declives superiores, mantiveram valores máximos abaixo das demais raças. A raça Limousine, embora com F_{resp} iniciais mais elevadas, apresentou contudo uma progressão mais lenta.

A análise das T_{rect} registadas ao longo do dia e entre as fases (vide Tabela 3.3) permitiu evidenciar diferenças significativas nos factores Fase, Raça e Hora, bem como nas respectivas interacções. As interacções significativas demonstram que as raças apresentaram comportamentos distintos nas T_{rect} ao

longo do dia e que essa evolução também difere consoante se encontrem em termoneutralidade ou sob condições de temperatura elevada. Nas Fig. 3.10., 3.11. e 3.12. estão representadas as médias e os desvios padrão de cada raça em cada fase. Em termoneutralidade não se registaram diferenças significativas nas T_{rect} das raças ao longo do dia. Os valores de T_{rect} observados (entre 38,4°C e 38,7°C) encontram-se dentro dos limites fisiológicos normais para bovinos em termoneutralidade (Bligh e Lampkim, 1965; Baccari Jr., 2001).



Raças	Equações de regressão	R^2	Prob.
Alentejana	$F_{resp} = 69,6865 + 5,8135.hora$	0,83	$P < 0,01$
Frísia	$F_{resp} = 81,9134 + 5,7263.hora$	0,87	$P < 0,01$
Limousine	$F_{resp} = 77,0398 + 5,4134.hora$	0,88	$P < 0,01$
Mertolenga	$F_{resp} = 68,4703 + 6,0162.hora$	0,75	$P < 0,01$

Fig. 3.9. Frequência respiratória em função das horas

Não foi encontrado qualquer padrão consistente na variação da T_{rect} ao longo do dia. A ausência de um padrão crescente da T_{rect} ao longo do dia contrasta com o referido por alguns autores que verificaram um padrão circadiano com aumentos da T_{rect} ao longo do período diurno (Bligh e Harthoorn, 1965; Berbigier, 1988; Louw, 1993; Hahn et al., 1997).

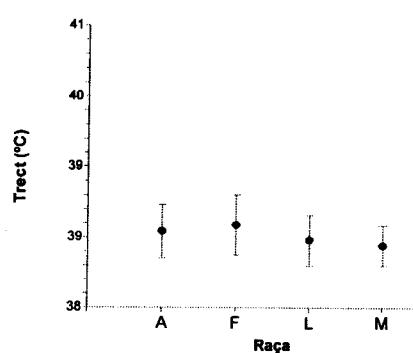


Fig. 3.10. Temperaturas rectais em TN1 ($\bar{x} \pm \delta$)

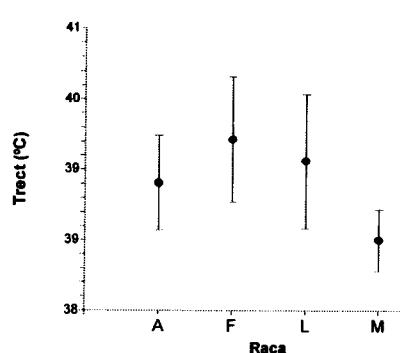


Fig. 3.11. Temperaturas rectais em ST ($\bar{x} \pm \delta$)

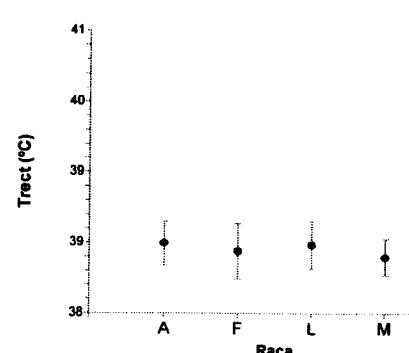


Fig. 3.12. Temperaturas rectais em TN2 ($\bar{x} \pm \delta$)

Esta ausência poderá estar relacionada com a ausência de actividade física na procura de alimento (que determina menores gastos energéticos e por isso menor produção de calor endógeno) e com a permanente disponibilidade de alimento (que tende a diluir ao longo do dia a influência da acção

dinâmica específica do alimento ingerido) originando uma repartição da produção de calor metabólico mais uniforme ao longo do dia (McDowell *et al.*, 1968; Webster, 1988).

Durante a fase ST, o aumento da temperatura das câmaras determinou um aumento generalizado das T_{rect} . Todas as raças apresentaram um padrão semelhante com incrementos da T_{rect} ao longo do dia, com os valores mínimos a ocorrerem às 8:00h e os máximos às 15:30h. Os animais da raça Frísia apresentaram às 15:30h as médias mais elevadas (40,03°C) seguidos dos da Limousine (39,77°C), Alentejana (39,47°C) e Mertolenga (38,76°C). A raça Mertolenga apresentou apenas uma ligeira variação da T_{rect} ao longo do dia que não foi suficientemente elevada para originar diferenças significativas.

Com a diminuição da temperatura das câmaras, todas as raças responderam com diminuições da T_{rect} . As raças Frísia e Limousine apresentaram às 18:30h valores significativamente inferiores às 15:30h. No caso da raça Limousine estes foram semelhantes aos observados às 12:30h, indicando uma melhor recuperação que a raça Frísia. A raça Alentejana, tendo apresentado menores T_{rect} que as raças Frísia e Limousine, revelou comparativamente uma recuperação algo inferior à raça Limousine. Exceptuando a raça Mertolenga, as restantes apresentaram às 18:30h valores de T_{rect} superiores aos valores iniciais verificados às 8:00h.

As equações de regressão calculadas para cada raça durante as 7,5 horas de maior temperatura (na fase ST), revelaram declives significativamente diferentes entre as raças (Fig. 3.13).

Após o aumento das temperaturas das câmaras, os animais da raça Frísia apresentaram incrementos mais acentuados das T_{rect} , superiores a 0,12°C por hora. Valores intermédios foram observados para os animais das raças Limousine (0,10°C por hora), Alentejana (0,08°C por hora) e, por último, a raça Mertolenga com acréscimos reduzidos (0,03°C por hora). Como consequência, a raça Alentejana e principalmente a Mertolenga, apresentaram variações diárias da T_{rect} claramente inferiores às das raças exóticas.

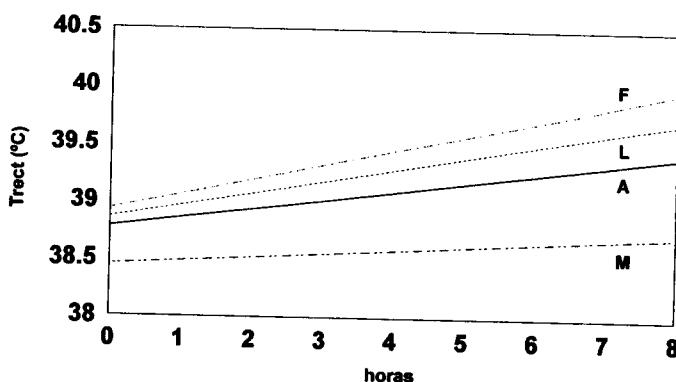
Tendências semelhantes são referidas por Ludri (1985) em vacas em lactação e por Titto *et al.* (1998) em novilhos de diferentes grupos genéticos, salientando as diferenças nos armazenamento de calor ao longo do dia que diferentes genótipos apresentam. É referido que a amplitude diária da T_{rect} tende a ser menor nos animais de maior dimensão, em grande parte devido ao efeito da maior massa que origina uma maior inércia térmica.

No caso presente, constatou-se que a raça de menor massa (Mertolenga) foi aquela que apresentou uma menor amplitude na T_{rect} , o que parece sugerir uma grande eficácia das vias termolíticas. As relações diferentes entre as F_{resp} e as T_{rect} das várias raças parecem corresponder a três situações diferentes: a raça Frísia com níveis elevados tanto de F_{resp} como de T_{rect} , as raças Alentejana e a Limousine com variações intermédias de F_{resp} e da T_{rect} e a raça Mertolenga que, apesar de demonstrar incrementos da F_{resp} , manteve quase inalterável a sua T_{rect} .

Na raça Frísia as vias de termólise foram incapazes de contrariar a tendência para o aumento da temperatura corporal. A raça Frísia ao apresentar as maiores F_{resp} e T_{rect} evidenciou uma clara incapacidade manter a homeotermia mesmo recorrendo a elevados níveis de termólise por via pulmonar. A participação da sudação (a ser tratada em experiência sequente), qualquer que tenha sido a sua importância relativa, não impediu nem a manutenção de elevada F_{resp} nem os aumentos da T_{rect} . A diminuição da temperatura das câmaras desencadeou apenas um ligeiro decréscimo da T_{rect} . Por outro lado, a manutenção de elevadas F_{resp} durante o período nocturno confirmou a necessidade do recurso

continuado à termólise evaporativa, mesmo perante gradientes térmicos mais favoráveis à dissipação de calor por via sensível. Esta conjugação de ocorrências parece sugerir a ideia de uma baixa capacidade de termólise, tanto sensível como latente.

Estes resultados estão de acordo com numerosos estudos que referem na raça Frísia uma clara tendência para a hipertermia quando sujeita a stresse térmico (Johnson *et al.*, 1967; Roman-Ponce *et al.*, 1976; McArthur, 1981; Robertshaw, 1986; Baccari Jr., 1998; Thompson *et al.*, 1999).



Raças	Equações de regressão	R ²	Prob.
Alentejana	$T_{rect} = 38,6947 + 0,0791.hora$	0,93	P<0.01
Frísia	$T_{rect} = 38,8012 + 0,1294.hora$	0,86	P<0.01
Limousine	$T_{rect} = 38,7541 + 0,1060.hora$	0,85	P<0.01
Mertolenga	$T_{rect} = 38,4201 + 0,0334.hora$	0,91	P<0.01

Fig. 3.13. Temperatura rectal em função das horas

As raças Limousine e Alentejana apresentaram situações intermédias. A raça Limousine apesar de ter apresentado valores máximos de F_{resp} inferiores à raça Alentejana, evidenciou também uma maior incapacidade de manter a homeotermia. A raça Limousine parece não ter tido necessidade de aumentar a F_{resp} , o que se estranha considerando a tendência manifestada para o incremento da T_{rect} . Contudo, nestes casos a participação da taxa de sudação na dissipação de calor pode explicar parcialmente as diferenças nas relações entre a F_{resp} e a T_{rect} . Esta raça tende a exibir uma elevada produção de calor metabólico devido às elevadas necessidades de manutenção e, principalmente, de crescimento (Berbigier e Sophie, 1986; Berbigier *et al.*, 1987). A elevada intensidade metabólica conjugada com a menor superfície específica tende a dificultar a dissipação do calor metabólico gerado, principalmente face a gradientes térmicos mais desfavoráveis. Por outro lado, a maior inércia térmica pode diferir os armazenamentos de calor, retardando a hipertermia, enquanto que uma maior condutância pode atenuar estes efeitos ao aumentar a velocidade de dissipação de calor, tal como acontece com as espécies tropicais de grande massa corporal (Louw, 1993).

A condutância dos animais está no entanto bastante dependente dos ritmos sazonais de aclimatação. Como a experiência foi realizada no fim do Inverno os animais apresentavam pelagens espessas com elevado isolamento térmico. Esta aclimatação ao frio pode ter originado menores condutâncias relativas nas raças exóticas, que apresentavam pelagens com pêlos mais finos e longos

relativamente às raças nativas (Pereira *et al.* dados não publicados). Udo (1978) e Louw (1993) confirmam esta observação salientando que as raças originárias de climas mais frios tendem a desenvolver pelagens mais espessas e com um grau superior de isolamento térmico.

A raça Alentejana apresentou alguns aspectos distintos relativamente à raça Limousine. Apesar de ambas terem apresentado elevada massa corporal, a raça Alentejana exibiu uma massa muscular menos volumosa, uma pelagem menos espessa e uma menor condição corporal (Pereira *et al.*, dados não publicados), o que permite supor condições mais favoráveis para a manutenção da estabilidade da T_{rect} . A conjugação dos relativamente baixos incrementos da T_{rect} com os moderados aumentos da F_{resp} sugerem níveis apreciáveis de sudação.

Dentro deste cenário apenas a raça Mertolenga apresentou uma T_{rect} normal. As demais raças apresentaram tendências para armazenamentos de calor variáveis, determinando uma continuada utilização dos mecanismos de termólise latente. Mesmo perante um gradiente térmico mais favorável durante o período nocturno, apresentaram dificuldades em dissipar o calor armazenado durante o dia, mantendo elevados níveis de polipneia térmica.

Exceptuando a raça Mertolenga, as outras raças terminaram o período nocturno com T_{rect} acima dos valores referência apresentados em termoneutralidade. Esta incapacidade de dissipar a totalidade do calor armazenado, mesmo com um gradiente térmico nocturno algo mais favorável, é cumulativa e tende a aumentar ainda mais o desconforto dos animais ao longo dos dias sob condições de temperatura elevada. Em condições de campo é frequente que as amplitudes térmicas entre o dia e a noite permitam que o animal dissipe o calor armazenado, atenuando em grande parte os efeitos do stresse térmico. Exemplo extremo é o bradimetabolismo exibido principalmente por dromedários e órix em climas áridos (Schmidt-Nielsen *et al.*, 1957; Wilson, 1989).

Excepto na raça Mertolenga, os ciclos das temperaturas das câmaras definidos na fase ST (com temperatura nocturna de 28°C) parecem não ter sido suficientes para permitir uma maior velocidade de dissipação de calor, de forma a dissipar o calor armazenado durante as horas mais quentes. Por outro lado, a diminuição da temperatura durante a noite foi acompanhada pelo aumento da humidade relativa, o que poderá ter contribuído para a diminuição da velocidade de evaporação do suor e por isso ter determinado uma maior necessidade em recorrer à termólise por via pulmonar. Nas condições em que a humidade relativa permanece elevada, parece inevitável a tendência para um aumento da F_{resp} como via disponível para a dissipação de calor por via evaporativa, uma vez que a evaporação do suor processa-se com menos eficiência devido ao baixo gradiente da pressão de vapor entre a superfície do animal e o ambiente (Santiesteban *et al.*, 1984). Esta conjugação de factores terá provavelmente determinado que as raças de maior tamanho tivessem de recorrer por mais tempo a F_{resp} superiores. Quando se repetem ciclos circadianos de recuperação incompleta do calor armazenado o processo de aclimação tende a ser mais acelerado (McLean, 1963b; Singh e Bhattacharya, 1991).

Quando se relacionaram as F_{resp} e as T_{rect} observaram-se diferenças marcantes entre as raças (Fig. 3.14., 3.15., 3.16. e 3.17.).

A raça Mertolenga conjugou algum incremento da F_{resp} com uma grande estabilidade da T_{rect} . Independentemente do papel mais ou menos relevante da sudação nesta estabilidade, o recurso moderado à termólise por via pulmonar sugere uma elevada eficácia das vias de termólise sensível e latente. A elevada capacidade da raça Mertolenga em manter a sua T_{rect} apresenta algum paralelismo com as raças

zebuínas e com outros grupos de bovinos tropicais (Moran, 1973; Berbigier, 1988; Hammond *et al.*, 1998;).

Titto *et al.* (1998) ao colocarem raças zebuínas e taurinas sob condições de elevada temperatura, observaram que a raça zebuína Nelore apresentava F_{resp} e principalmente T_{rect} claramente inferiores à raça Marchigiana e principalmente à raça Simental. De forma similar as raças Hariana e Brahman parecem apresentar alterações na temperatura corporal apenas quando a temperatura ambiente ultrapassa os 32°C (Joshi *et al.*, 1968; Hammond *et al.*, 1996).

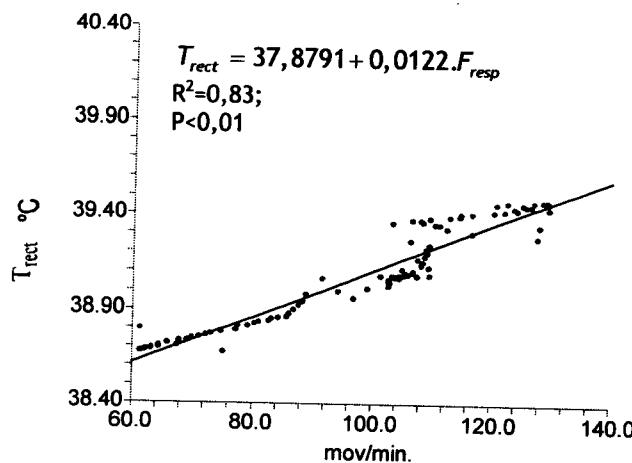


Fig. 3.14. Relação entre a frequência respiratória e a temperatura rectal na raça Alentejana

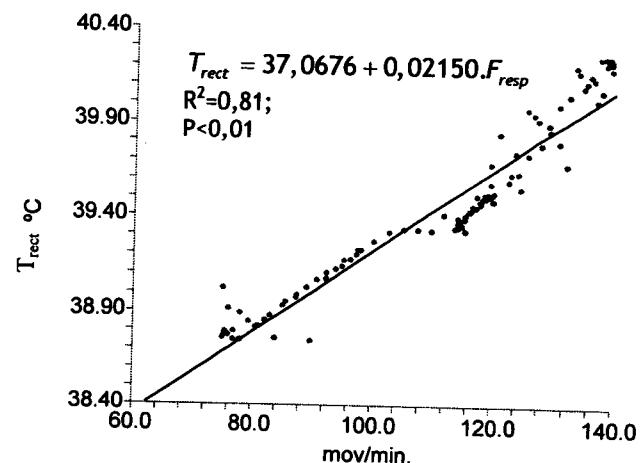


Fig. 3.15. Relação entre a frequência respiratória e a temperatura rectal na raça Frísia

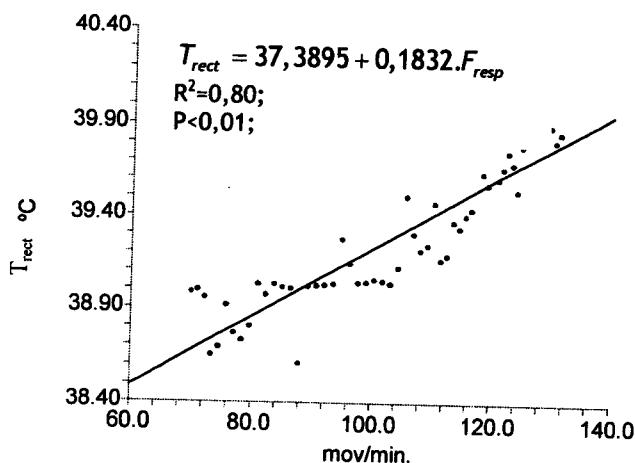


Fig. 3.16. Relação entre a frequência respiratória e a temperatura rectal na raça Limousine

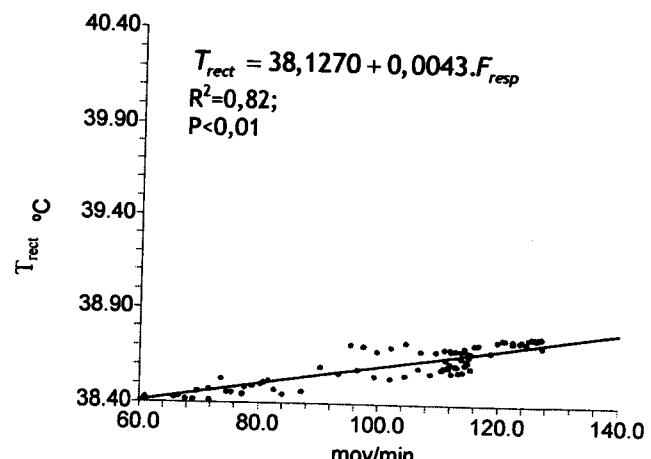


Fig. 3.17. Relação entre a frequência respiratória e a temperatura rectal na raça Mertolenga

Apesar das semelhanças entre a raça Mertolenga e as raças zebuínas na manutenção da T_{rect} , as F_{resp} são claramente superiores. Os valores médios registados assemelham-se mais aos descritos para animais cruzados de zebuínos (*Bos taurus* x *Bos indicus*), embora nestas condições térmicas estes tendam a apresentar maiores incrementos na temperatura corporal (Singh e Bhattacharya, 1991; Gaughan *et al.*, 1999).

Vários factores são susceptíveis de explicar a manutenção da estabilidade da temperatura corporal. O menor tamanho (a que corresponde uma maior relação superfície/massa corporal) confere maior vantagem para a permuta de calor. À maior superfície específica acresce ainda o facto de os animais mais pequenos apresentarem em média condutâncias proporcionalmente superiores, o que

predispõe a uma maior velocidade de dissipação do calor por via sensível (Eckert *et al.*, 1997). Sendo a frequência respiratória de ressonância proporcionalmente maior nos animais de menores dimensões, em condições mais severas de calor os animais de menores dimensões tendem a apresentar perdas de calor pela via pulmonar proporcionalmente superiores (Robertshaw, 1985; Schmidt-Nielsen, 1995). Porém, outros autores enfatizam a componente genética da tolerância ao calor, valorizando simultaneamente a maior capacidade de dissipação de calor sensível e principalmente a maior taxa de sudação (Bianca, 1961; Finch *et al.*, 1982; Finch, 1985; Burns *et al.*, 1988).

Os comportamentos termorreguladores foram evidentes em todas as raças. Nas raças Limousine e sobretudo na Frísia, foram observados animais entornando a água dos bebedouros e molhando os tapetes de boracha para depois se deitarem em decúbito ventral ou mesmo lateral. Esta situação ocorreu nos últimos dias da fase de estresse térmico, predominantemente a meio da tarde, e era acompanhada por elevadas F_{resp} sugerindo uma tentativa de maximização da dissipação de calor nas horas em que a T_{rect} era maior. Este comportamento terá certamente permitido um adicional aumento na perda de calor. Na verdade, ao calor retirado ao animal para aquecer a água até à temperatura da periferia do corpo deve ser adicionado o aumento da condutividade térmica tanto do pavimento quanto do interface pele e pelagem (Turner *et al.*, 1984; Cooper, 1993).

A F_{resp} deve apenas ser considerada como um instrumento algo grosseiro para indicar o início do estresse térmico. Não obstante, alguns autores consideram que a F_{resp} pode ser utilizada como indicador do estado de recuperação dos animais, uma vez que esta parece alterar-se mais precocemente que a sudação face a um transitório alívio de estresse térmico. Bennett *et al.* (1985) referem que animais abrigados à sombra retomam o pastoreio quando a F_{resp} diminui até um determinado nível, sem que tal pareça estar relacionado com alterações na taxa de sudação.

Contemplando a componente genética, é possível que a proporcionalidade com que são postos em jogo os mecanismos de termólise latente possam diferir entre as raças. Os estímulos cruzados da temperatura da pele e do núcleo, podem favorecer, em alguns casos, uma maior preponderância da sudação enquanto outros um maior protagonismo da polipneia (Louw, 1993). Parece lícito considerar que nem sempre níveis elevados de F_{resp} estarão inevitavelmente associados à hipertermia ou invariavelmente relacionados com fraca tolerância ao calor (Mostageer *et al.*, 1974).

3.3.3. Ingestões de alimento e de água

Ao longo do processo de aclimação/aclimatação verificam-se reduções da ingestão de alimento de magnitude variável, correspondendo a um mecanismo compensador que visa reduzir a termogénesis e o restabelecimento de um equilíbrio térmico mais favorável.

Tendo em consideração estes aspectos foi utilizada na experiência uma dieta moderadamente calorigénica, cuja palatabilidade, valor nutritivo e degradabilidade possibilitasse uma ingestão normal, minimizando a probabilidade de recusas.

Optou-se por fornecer a todas as raças a mesma dieta com a mesma concentração energética e proteica. A uniformização da dieta para todas as raças, independentemente das suas diferentes necessidade de manutenção e de crescimento, teve como base simular uma estratégia de alimentação a

campo e principalmente fornecer uma dieta com uma concentração energética que permitisse uma resultante calorigénica igual para todas as raças.

Durante toda a fase de adaptação à dieta, ainda fora das câmaras climáticas, não foram registadas quaisquer situações de recusa do alimento. Dentro das câmaras, a mudança de local não teve reflexos negativos nas ingestões médias.

As ingestões de água referentes à fase ST não incluem todos os valores recolhidos. Alguns volumes de água medidos não correspondiam de todo à água ingerida por alguns animais, que aprenderam a premir incessantemente a base do bebedouro automático, de forma a que a água extravasasse e alagasse o tapete de borracha. Esta situação ocorreu principalmente com a raça Frísia no final da fase ST. Esses registo não foram utilizados nas análises. As ingestões médias de alimento e água totais (I_{alm} e I_{ag}) e por peso metabólico ($I_{alm}Pv^{0,75}$ e $I_{ag}Pv^{0,75}$) registados nas raças durante as três fases da experiência são apresentadas na tabela 3.4..

Tabela 3.4. - Ingestões de alimento e de água ($\bar{X} \pm Ep$)

Fases	Variáveis Raça	I_{alm} (kg)	$I_{alm}Pv^{0,75}$ (kg)	I_{ag} (l)	$I_{ag}Pv^{0,75}$ (l)
TN1	Alentejana	22,93±0,59	0,290±0,007 ^{aB}	13,56±3,23	0,169±0,045 ^{aA}
	Frísia	20,84±0,59	0,297±0,00 ^{aB}	17,81±2,92	0,255±0,042 ^{aA}
	Limousine	20,76±0,77	0,234±0,01 ^{aA}	13,07±3,97	0,148±0,056 ^{aA}
	Mertolenga	14,36±0,61	0,239±0,00 ^{aA}	13,96±3,23	0,232±0,045 ^{aA}
ST	Alentejana	21,26±0,43	0,269±0,006 ^{BB}	25,83±1,66	0,327±0,023 ^{BB}
	Frísia	20,92±0,43	0,299±0,006 ^{aA}	33,24±1,74	0,479±0,024 ^{bA}
	Limousine	18,41±0,51	0,211±0,007 ^{abc}	23,83±2,16	0,303±0,030 ^{BB}
	Mertolenga	14,13±0,43	0,237±0,006 ^{ac}	14,87±1,71	0,247±0,028 ^{aB}
TN2	Alentejana	23,21±0,52	0,293±0,007 ^{aA}	14,06±2,02	0,178±0,029 ^{aAB}
	Frísia	21,60±0,52	0,308±0,007 ^{aA}	15,55±2,06	0,223±0,035 ^{aA}
	Limousine	19,86±0,63	0,227±0,008 ^{aB}	11,28±2,50	0,129±0,034 ^{aAB}
	Mertolenga	14,10±0,52	0,237±0,008 ^{aB}	10,57±2,42	0,170±0,034 ^{aB}

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) nas raças entre as fases (pelo método SNK).

Nas colunas onde figuram os consumos por peso metabólico, índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) nas fases entre as raças (pelo método SNK).

Ao longo da experiência, os valores médios da ingestão de alimento (I_{alm}) e de água (I_{ag}) dentro de cada raça apresentaram uma elevada dispersão. Nas Fig. 3.18., 3.19., 3.20., 3.21., 3.22. e 3.23 são representadas as médias e os desvios padrão das ingestões de alimento e de água.

A proporção de alimento ingerido nos períodos nocturno e diurno não apresentou diferenças entre as raças ou entre as fases (fig. 3.24. e 3.25).

O aumento da temperatura ambiente originou um aumento significativo na $I_{ag}Pv^{0,75}$. As raças Limousine, Alentejana e, principalmente, a Frísia apresentaram $I_{ag}Pv^{0,75}$ significativamente superiores durante a fase ST (Fig. 3.26. e 3.27.).

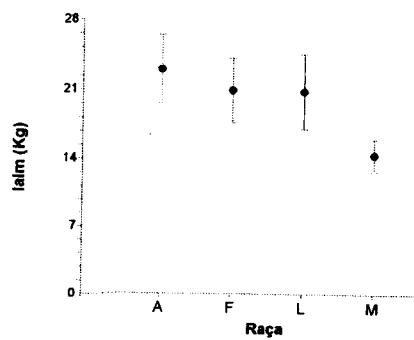


Fig 3.18. Ingestões de alimento em TN1

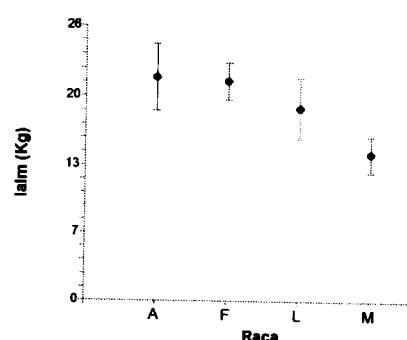


Fig 3.19. Ingestões de alimento na fase ST

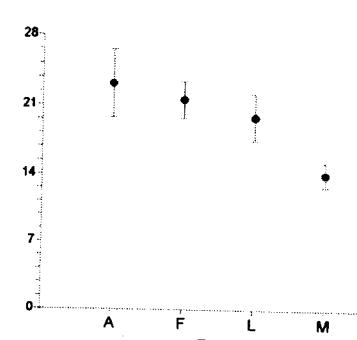


Fig 3.20. Ingestões de alimento na fase TN2

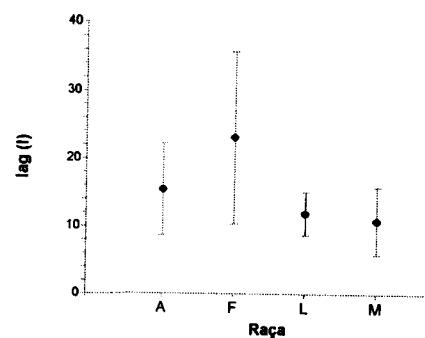


Fig 3.21. Ingestões de água na fase TN1

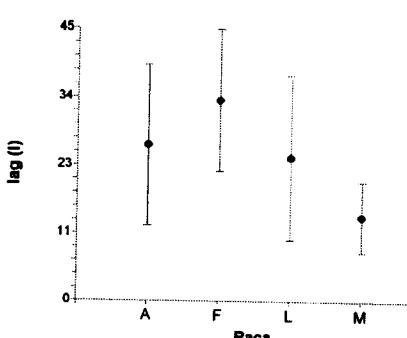


Fig 3.22. Ingestões de água na fase ST

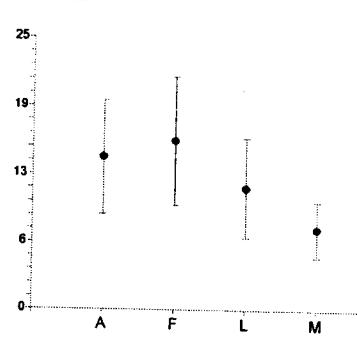


Fig 3.23. Ingestões de água na fase TN2

A raça Mertolenga foi a única que não alterou significativamente a $I_{\text{ag}}Pv^{0,75}$ durante a fase de ST. Durante a fase ST verificou-se uma alteração da proporcionalidade na ingestão de água. A percentagem de água ingerida durante o período mais quente do dia (9:00h-16:00h) aumentou relativamente à fase de TN.

As variações na $I_{\text{alm}}Pv^{0,75}$ e na $I_{\text{ag}}Pv^{0,75}$ registadas nas raças parecem estar relacionadas com cenários fisiológicos distintos, que se manifestaram por diferentes alterações na F_{resp} e da T_{rect} . Face aos resultados, parece possível enquadrá-los em três situações distintas: a primeira agrupando as raças Alentejana e Limousine, a segunda a raça Mertolenga e a última a raça Frísia.

As raças Alentejana e Limousine apresentaram, durante a fase de ST, reduções significativas na $I_{\text{alm}}Pv^{0,75}$ (10 e 9,6% respectivamente) e aumentos significativos na $I_{\text{ag}}Pv^{0,75}$ (93 e 119% respectivamente), relativamente às médias registadas em termoneutralidade.

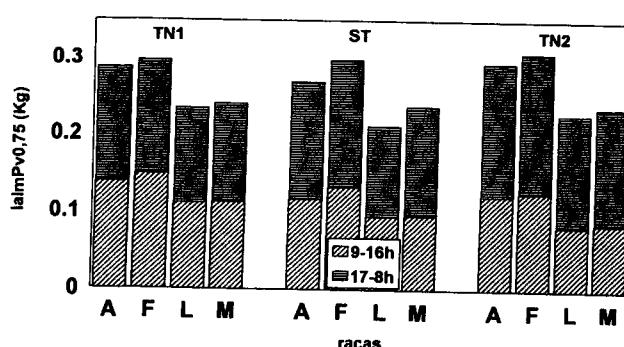


Fig. 3.24. Ingestões de alimento

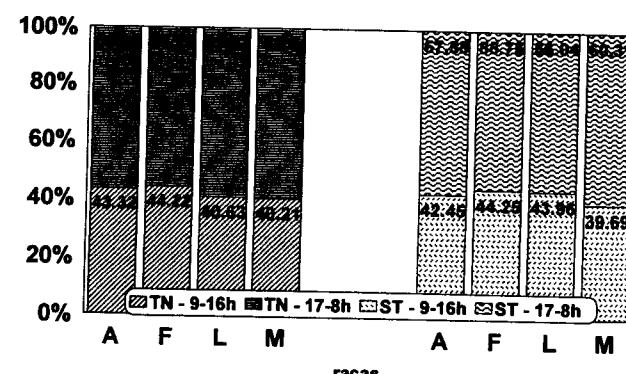


Fig. 3.25. Percentagem de alimento ingerido nos períodos diurno e nocturno

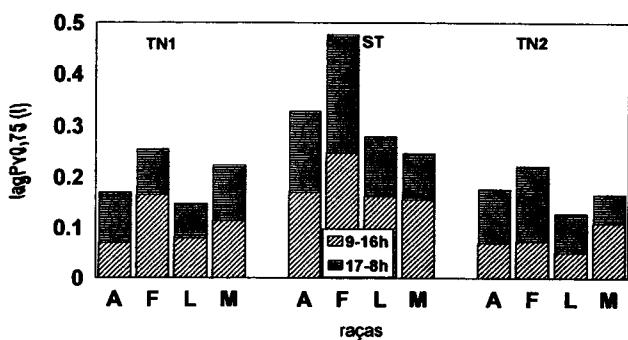


Fig. 3.26. Ingestões de água

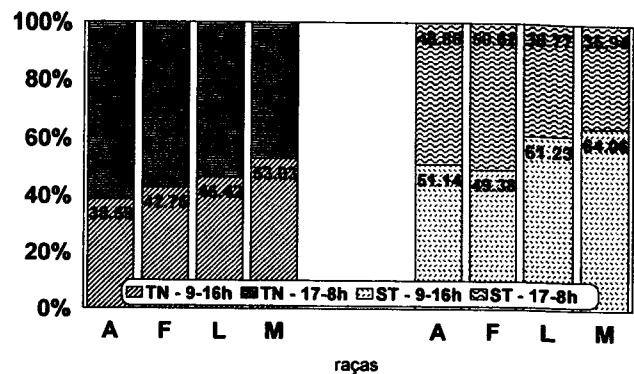


Fig. 3.27. Percentagem de água ingerida nos períodos diurno e nocturno

Alterações semelhantes são referidas em vários estudos englobando vários genótipos em diferentes condições ambientais (Blincoe, 1958; Johnson *et al.*, 1967; Armstrong, 1994).

Forbes (1993) refere que bovinos de raças europeias, colocados a 5°C, ingerem em média 3 kg de água por cada kg de alimento ingerido. Este rácio altera-se para 8:1 em stresse térmico a 32°C. Os zebuíños nas mesmas condições apresentam rácios inferiores, sendo justificado por uma menor necessidade de água para a termorregulação. Esta explicação é no entanto enganadora uma vez que os zebus ao serem comparados com os taurinos a uma mesma temperatura apresentam-se mais próximos da sua temperatura crítica superior, não correspondendo portanto à mesma intensidade relativa de stresse térmico.

As alterações nas ingestões de alimento e de água, são apontadas como o corolário de balanços térmicos desfavoráveis, e fazem parte integrante do processo de aclimação/aclimatação (Berman, 1968; Legates *et al.*, 1991; Armstrong, 1994; Silanikove, 2000). Durante a fase ST os valores elevados de F_{resp} (eventualmente associados a taxas de sudação mais ou menos elevadas) atestam o esforço intenso e continuado para aumentar a dissipação de calor. A concomitante incapacidade de manter estável a T_{rect} , confirmadas por recuperações incompletas durante o período nocturno, são factores que predispõem a um estímulo acrescido para a aclimação. Logo, perante a intensidade dos mecanismos termolíticos nas raças Limousine e Alentejana e face aos armazenamento de calor observados, era expectável uma tendência para a diminuição da termogénese e consequentemente a diminuição da ingestão voluntária (Richards, 1985; Beede e Collier, 1986; Legates *et al.*, 1991; Silanikove, 2000). Estas raças, com maior massa corporal (e consequentemente com maior produção de calor metabólico) e com uma condição corporal acima da média (principalmente a raça Limousine) necessitam de reduzir mais a termogénese (McArthur, 1981; Muller e Botha, 1993; Sprinkle *et al.*, 2000).

As reduções observadas nas $I_{\text{alm}}Pv^{0,75}$ das raças Alentejana e Limousine, embora significativas, não foram muito expressivas. Tal pode dever-se não apenas ao moderado stresse térmico mas também às características da dieta fornecida. Vários estudos salientam que as maiores reduções na ingestão voluntária estão associadas a dietas mais fibrosas de baixa digestibilidade e degradabilidade (Beede e Collier, 1986; Forbes, 1993). No caso presente, a opção de fornecer uma dieta fragmentada composta por silagem de milho e bagaço de girassol, com elevada digestibilidade e degradabilidade, terá provavelmente atenuado uma parte destes efeitos. Por outro lado, a maior ingestão de água, que traduz uma necessidade acrescida de água para a termorregulação, apresenta efeitos colaterais na diminuição transitória da

temperatura do rúmen e no aumento da velocidade de passagem dos alimentos, o que tende a contribuir para atenuar os decréscimos na ingestão voluntária (Christopherson, 1984; Beede e Collier, 1986; Silanikove, 2000).

A ausência de uma significativa transferência da $I_{\text{alm}}Pv^{0,75}$ para o período nocturno conduz à ideia que o acréscimo de calor produzido pela ingestão de alimento não terá sido suficientemente relevante para determinar uma gestão diferente dos períodos de ingestão (Berman, 1968; Richards, 1985). A esta situação acresce o facto dos animais não terem de despender energia na procura do alimento, considerada como uma das maiores fontes de aquisição de calor associadas ao processo ingestivo (Findlay, 1950; Richards, 1985; Baccari Jr. et al., 1988).

Durante a fase ST a raça Mertolenga não apresentou qualquer alteração significativa nas ingestões de alimento e de água. Esta ausência de alterações é referida em alguns estudos em condições de stresse térmico moderado ou quando os períodos de stresse térmico não são suficientemente longos (Collier et al., 1981; Beede e Collier, 1986; Singh e Bhattacharya, 1991), ou ainda quando os animais apresentam maiores temperaturas críticas superiores e consequentemente maior tolerância ao calor (Frisch e Vercoe, 1984; Titto et al., 1998). Nestas circunstâncias, as reacções fisiológicas exibidas pelos animais são inexistentes ou muito atenuadas e regista-se normalmente uma elevada estabilidade da T_{rect} , tal como acontece com frequência nos animais zebuínos e/ou com os seus cruzamentos (Blincoe, 1958; Allen, 1962; Bligh e Lampkim, 1965; Buvanendran et al., 1992; Rometsch et al., 1997).

A raça Mertolenga, na fase ST, apresentou claros indícios de utilização de mecanismos de termólise evaporativa, os quais foram suficientemente eficazes para permitir uma elevada estabilidade da T_{rect} . Os incipientes armazenamentos de calor ocorridos ao longo do dia foram completamente dissipados durante o período nocturno. Esta estabilidade da T_{rect} terá contribuído para uma maior versatilidade na gestão da ingestão. Apesar da estimulação dos termossensores que determinaram a activação da termólise latente, estes não terão sido suficientemente acentuados que determinassem interferências na $I_{\text{alm}}Pv^{0,75}$. Por outro lado, a estabilidade da T_{rect} terá permitido a manutenção da motilidade do tracto gastrointestinal, particularmente no retículo-rúmen, mantendo o trânsito ruminal dentro dos padrões normais (Johnson et al., 1967; Collier et al., 1982; Christopherson, 1984; West, 1999).

A raça Mertolenga não apresentou qualquer diferença na $I_{\text{ag}}Pv^{0,75}$ entre as fases de TN e ST. Esta situação é algo singular uma vez que o recurso à termólise evaporativa origina um inevitável acréscimo na utilização de água, o que determina normalmente uma ingestão compensatória (Turner et al., 1984; Muller et al., 1994b; Silanikove, 1992). A alteração no padrão de ingestão da água com uma transferência da ingestão para as horas mais quentes do dia (53% em termoneutralidade para 64% sob efeito das temperaturas elevadas) permite supor uma melhor adequação e eficiência da ingestão da água para efeitos de termorregulação, situação normalmente verificada nos animais selvagens que vivem em climas mais áridos (Wilson, 1989; Lovegrove, 1999). Observações complementares, realizadas durante a fase ST, permitiram identificar que os animais da raça Mertolenga, em comparação com as outras raças, apresentavam uma urina de coloração mais escura e de cheiro intenso e fezes menos fluidas. Tal é possível de alguma especulação, indicando porventura a ocorrência de alterações nos ciclos dos movimentos da água que se verificam entre os vários compartimentos hídricos do organismo, com repercussões positivas no balanço hídrico (Seif et al., 1972; Yousef e Johnson, 1984). O eventual predomínio da polipneia relativamente à sudação pode ajudar a explicar a maior eficiência da utilização

da água para a termorregulação, uma vez que a polipneia de boca fechada pode permitir uma apreciável economia de água (Wilson, 1989; Jessen, 2001). Perante estes resultados, será lícito suspeitar que esta raça possa apresentar mecanismos mais eficientes de economia de água, que normalmente estão associados aos animais que vivem em regiões com maior grau de aridez. Contudo, esta ocorrência não deixa de ser algo invulgar uma vez que a activação desses mecanismos é normalmente menos exuberante perante a disponibilidade de água *ad libitum* (Yousef e Johnson, 1984; Silanikove, 1992; Louw, 1993; Lovegrove, 1999). Estas observações e suspeitas requerem confirmação em experiências devidamente delineadas para o efeito.

Na raça Frísia são constatadas algumas discrepâncias entre as reacções fisiológicas exibidas em stresse térmico e as consequências na ingestão voluntária. As elevadas F_{resp} observadas são reveladoras de um intenso esforço de termorregulação, que não foi suficiente para evitar claros incrementos da T_{rect} , apenas parcialmente atenuados durante o período nocturno.

Em cenários semelhantes, é comum observarem-se diminuições mais ou menos acentuadas na ingestão voluntária (Alba e Sampaio, 1957; Bianca, 1965; Colditz e Kellaway, 1972; Beede e Collier, 1986). Porém, neste caso, a raça Frísia não apresentou alterações significativas nas ingestões verificadas entre as duas condições térmicas, o que se revelou algo incomum tendo em conta a evidente sintomatologia de stresse térmico. Esta situação singular foi observada por Berbigier (1983) em animais cruzados de Limousine, não sendo todavia sugeridas quaisquer explicações para o sucedido.

No caso presente, algumas contingências decorrentes da experiência são susceptíveis de permitir algumas justificações plausíveis. Esta situação deve ser enquadrada numa perspectiva mais alargada, alicerçando as explicações na interacção entre os grandes acréscimos da ingestão de água e a menor condição corporal dos animais.

Uma condicionante que parece poder assumir alguma relevância neste contexto, refere-se à condição corporal dos animais, claramente abaixo das restantes e que não foi completamente compensada durante o período de adaptação. Animais com menor condição corporal, ou aqueles cujo desenvolvimento se encontra atrasado, apresentam valores de ingestão de alimento proporcionalmente superiores. Forbes (1993) refere que, em ambos os casos, a ingestão alimentar apresenta uma relação estreita com a digestibilidade do alimento, mas com coeficientes diferentes consoante a condição corporal. Para bovinos em boa condição corporal a ingestão pode estimar-se através da equação: $I_{\text{alm}} = 0,019.D_{\text{tg}} - 4,55$ [Kg], enquanto que em bovinos com fraca condição corporal a equação apresenta um coeficiente superior: $I_{\text{alm}} = 0,026.D_{\text{tg}} - 7,14$ [Kg].

Perante a desproporção entre o crescimento dos tecidos ósseo e muscular tende a verificar-se um crescimento compensatório, quando se disponibiliza alimento em quantidade e qualidade (Adams *et al.*, 1987). As recuperações compensatórias apresentam um cenário endócrino que favorece claramente os processos anabólicos, e que por isso, determinam elevadas taxas metabólicas. Este cenário está claramente desenquadrado das prioridades imediatas face ao stresse térmico.

Assim, será lícito admitir que os animais, por estarem em processo de recuperação da condição corporal, terão forçado a ingestão alimentar como forma de manterem, tanto possível, o ritmo do crescimento compensatório, mesmo penalizando parcialmente a sua normalidade fisiológica (Hahn, 2001 comunicação pessoal). A ingestão de água, muito acima dos valores normais, possibilita uma maior

disponibilidade para a termólise latente, sem interferência negativa nos valores normais das osmolaridades sanguínea e dos espaços extracelulares (Seif *et al.*, 1972; Yousef e Johnson, 1984). Esta estabilidade da osmolaridade, complementada pela disponibilidade *ad libitum* de minerais, tende a repercutir-se favoravelmente na manutenção de um suprimento adequado de saliva para o rúmen, com reflexos positivos na eficiência digestiva, na taxa de passagem e na ingestão voluntária. Alguns autores referem que este adequado suprimento é susceptível de atenuar parcialmente os efeitos da redução da motilidade ruminal (Silanikove, 1992; West, 1999; Silanikove, 2000).

Por outro lado, quando um grande volume de água chega ao rúmen com elevada frequência é susceptível de proporcionar uma relevante perda de calor por transferência de massa, reduzindo transitoriamente a temperatura ruminal (Lofgreen *et al.*, 1975; Bruce, 1993). Este arrefecimento transitório proporciona alterações na estimulação dos termossensores, que vão ser interpretadas no hipotálamo como um alívio do stresse térmico, possibilitando eventualmente o reinício de uma nova etapa de ingestão com duração variável. Assim, o volume e a elevada frequência da água ingerida permite supor a existência de um conjunto de etapas de ingestão de alimento, cujo somatório tenha reduzido a tendência para decréscimos mais acentuados na quantidade ingerida (Lofgreen *et al.*, 1975; Degen e Young, 1984; Blackshaw e Blachshaw, 1994).

Face aos resultados observados, as relações entre o stresse térmico e a condição corporal, devem ser objecto de estudo detalhado bem como o papel da ingestão de água nestas relações, visando a melhor compreensão dos mecanismos subjacentes e das interacções que se estabelecem.

4.3.4. Parâmetros sanguíneos

A manutenção dos animais sob condições de temperatura elevada pode repercutir-se de forma directa nas variáveis fisiológicas do animal ou de forma indirecta através das alterações no balanço endócrino, no metabolismo hídrico e na intensidade metabólica. O hematócrito (H_{tc}) e as hormonas da tireoide são susceptíveis de proporcionar informações relevantes acerca das relações entre as intensidade das reacções fisiológicas postas em jogo e os respectivos reajustes decorrentes da aclimação. Os valores médios do hematócrito estão representados na Fig. 3.28..

O hematócrito foi influenciado significativamente pelos factores Raça e Fase. A raça Mertolenga apresentou valores médios mais elevados e significativamente diferentes da raça Frísia, que foi a raça que exibiu os menores valores. As amplitudes dos valores registados e as fases em que ocorreram estão representados na Fig. 3.29..

As temperaturas elevadas determinaram a diminuição dos valores do hematócrito. Os valores mais elevados foram observados em TN1, enquanto que os mais baixos se registaram em ST1. As tendências e as magnitudes das variações constatadas diferiram entre as raças, sendo evidente uma elevada heterogeneidade intra-rácica.

As variações observadas no H_{tc} após 3 dias sob condições de elevadas temperatura permite supor que todas as raças desencadearam os reajustes necessários no balanço hídrico, de forma a corresponder à maior necessidade de água para a termólise evaporativa (El-Nouty *et al.*, 1980; Alnaimy *et al.*, 1992). A ingestão de água foi proporcionalmente maior que aquela estritamente suficiente para equilibrar o

acréscimo das necessidades metabólicas, originando a diminuição generalizada do hematócrito.

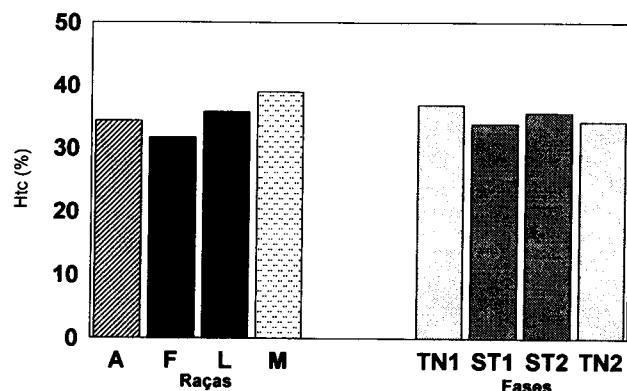


Fig. 3.28. Hematócitos (\bar{X} das raças e das fases)

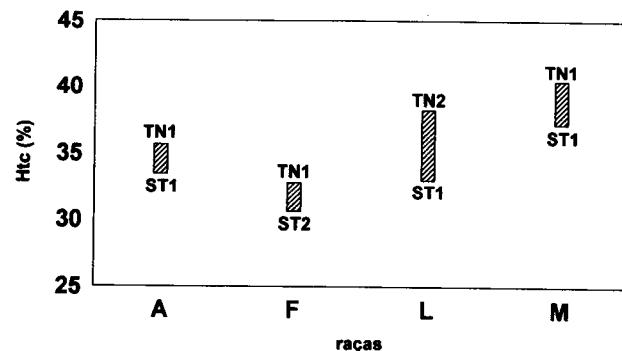


Fig.3.29. Amplitudes do hematócriso (%)

O aumento do teor em água no organismo é considerado como uma reacção adaptativa face ao stresse térmico e que tende a ocorrer mais tardivamente nos animais mais tolerantes ao calor (McDowell et al., 1968; Garcia et al., 1979; El-Nouty et al., 1980; Alnaimy et al., 1992). El-Nouty et al.(1992) referem que as grandes diminuições do H_{tc} ocorridas esporadicamente sob o efeito de stresse térmico severo podem reflectir, não apenas a normal hemodiluição, mas também, uma menor hematopoiese. Alnaimy et al. (1992) sugerem que tal parece ocorrer quando se conjuga uma hipertermia persistente com as menores necessidades em oxigénio, decorrente da redução da intensidade metabólica.

Estudos referem uma hemodiluição mais ou menos acentuada devido a aumentos na ingestão de água, com variações que podem atingir mais de 10 pontos percentuais (de 40 para 29%)(Bianca, 1965), embora estas diminuições possam reflectir também alguns erros de amostragem relacionados com o período de recolha das amostras.

No caso presente, as ligeiras diminuições no hematócrito indicam um efeito de diluição variável, que traduz o novo balanço entre a ingestão e a utilização da água. A magnitude dos decréscimos observados são semelhantes aos encontrados por McDowell et al. (1968), com diminuições de 2 a 4 pontos percentuais. Garcia et al. (1979) constataram em vacas cruzadas de Frísia com zebu (1/2 zebu e 1/4 Zebu), sujeitas a temperaturas elevadas, valores de hematócrito oscilando entre 31 e 27%, respectivamente.

Na tabela 3.5. são apresentados os valores de H_{tc} das raças em cada fase.

Tabela 3.5. -Hematócritos em cada fase ($\bar{X} \pm Ep$)

Fases Raças	TN1	ST1	ST2	TN2
Alentejana	35,64±0,95	33,46±0,95	34,00±0,95	33,71±0,95
Frísia	32,81±0,95	31,42±0,95	30,61±0,95	31,51±0,95
Limousine	38,26±1,04	33,00±1,04	38,00±1,04	33,15±1,04
Mertolenga	40,46±0,95	37,23±0,95	39,56±0,95	38,26±0,95

Cada raça não apresentou variações significativas entre as fases. A elevada variabilidade intráraca (comum a todas as raças) terá contribuído decisivamente para a ausência de diferenças significativas. Apesar disso, a transição da termoneutralidade para as elevadas temperaturas determinou

uma tendência consistente para a diminuição dos valores do hematócrito.

Ao longo da fase de ST, parecem ter ocorrido duas situações distintas: na raça Frísia constatou-se um decréscimo gradual e continuado dos valores de hematócrito, enquanto que nas restantes verificou-se uma recuperação parcial relativamente à fase de TN1. Estas duas situações poderão indicar dois processos algo diferentes. Nas raças Alentejana, Limousine e Mertolenga os aparentes ciclos do hematócrito entre as fases TN1, ST1 e ST2, são susceptíveis de revelar diferentes fases de aclimação. Após a transição para temperaturas elevadas, verifica-se a imediata necessidade do aumento da termólise evaporativa, o que implica incrementos na ingestão de água. Estes tenderão a ser tanto mais elevados quanto maior o desconforto dos animais (El-Nouty *et al.*, 1980; Nicol e Young, 1989). Com a manutenção em stresse térmico, verifica-se o avanço da aclimação que concilia a diminuição da produção de calor metabólico e a maior eficiência da utilização da termólise latente, o que conduz a uma menor estimulação para a ingestão de água (MacFarlane, 1968; Lovegrove, 1999). A menor premência para a ingestão suplementar de água parece ter permitido um reequilíbrio parcial da osmolaridade dos fluidos corporais, aproximando o hematócrito dos valores de referência de TN1 (Singh e Newton, 1978a,b; Yousef e Johnson, 1984).

A raça Mertolenga apresentou, em todas as fases, valores de hematócrito significativamente superiores aos das restantes raças. Estes valores assemelham-se aos referenciados para raças zebuínas que apresentam valores próximos de 40%, normalmente superiores aos das raças taurinas que exibem valores próximos de 34% (Singh e Newton, 1978b). Alguns autores salientam este aspecto como factor predisponente para uma maior tolerância ao calor (Bianca, 1965; Yousef e Johnson, 1984), embora constitua uma questão bastante polémica (El-Nouty *et al.*, 1980).

O caso da raça Frísia, onde se observou uma tendência decrescente nos valores do hematócrito ao longo da fase ST, poderá ser enquadrada num processo que reflecte a tentativa da manutenção do maior conforto térmico possível e a manutenção de um nível de ingestão suficientemente elevado, visando a recuperação da condição corporal deficitária. Neste cenário, onde prevalecem objectivos antagónicos, a ingestão de água (bastante acima das restantes raças) providencia os fluidos indispensáveis para a maximização da termólise latente (Alnaimy *et al.*, 1992), interfere positivamente no balanço térmico do animal (Beede e Collier, 1986; Blackshaw e Blachshaw, 1994) e determina a manutenção da baixa osmolaridade (Alnaimy *et al.*, 1992; Yousef e Johnson, 1984). Neste caso, os reajustes na osmolaridade decorrentes da aclimação têm menos condições de ocorrer devido à prioridade fisiológica que visa a recuperação da condição corporal.

No retorno à situação de termoneutralidade (TN2) todas as raças exibiram valores de hematócrito abaixo dos observados em TN1. No entanto, exceptuando na raça Frísia, os menores valores registados relativamente a ST2 revelaram um novo equilíbrio entre a ingestão de água e as alterações no metabolismo hídrico. Verifica-se portanto uma incompleta aclimação às novas condições de termoneutralidade, que se caracterizam por menores necessidades hídricas para a termólise latente e por um progressivo aumento da taxa metabólica (Eckert *et al.*, 1997; Lovegrove, 1999).

Esta inércia no reajuste do hematócrito após o retorno à termoneutralidade salienta as complexas interacções entre as variáveis fisiológicas e endócrinas associadas ao processo de aclimação, designadamente a taxa metabólica e a taxa de utilização da água e dos electrólitos, que ao decorrerem a velocidades diferentes, se repercutem por reajustes mais lentos nas ingestões de água e de alimento (Alnaimy *et al.*, 1992; Eckert *et al.*, 1997).

As variações das concentrações das hormonas da tireoide proporcionam informações relevantes acerca do processo de aclimação/aclimatação. As concentrações médias das triiodotironina (T_3) e tiroxina (T_4) de cada raça e de cada fase são representadas na Fig. 3.30.e 3.31., respectivamente.

As concentrações de T_3 foram influenciadas tanto pelo factor Raça como pelo factor Fase, enquanto que as da T_4 foram apenas influenciadas pelo factor Fase. As raças Mertolenga e Alentejana, apresentaram níveis de T_3 superiores às restantes, enquanto que as raças Frísia e Limousine apresentaram valores semelhantes entre si.

Estes resultados confirmaram o efeito das temperaturas elevadas no decréscimo das hormonas da tireoide. Apesar das diferenças nas concentrações médias de T_3 observadas entre TN e ST, a inexistência de interacções significativas reforça a ideia de que o stresse térmico influenciou no mesmo sentido todas as raças. Na verdade, os resultados observados estão de acordo com vários estudos, que salientam o papel da diminuição dos valores das hormonas da tireoide no processo de aclimação/aclimatação ao calor (Kibler *et al.*, 1949; Blincoe, 1958; Johnson e Yousef, 1966; Yousef e Johnson, 1966b; Yousef e Johnson 1967; Ingraham *et al.*, 1976; Riis, 1983; Beede e Collier, 1986; Pratt, 1986; O'Kelly e Spiers, 1994).

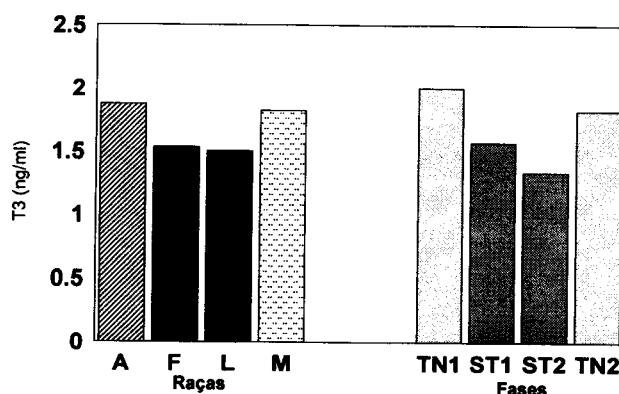


Fig. 3.30. Concentrações de triiodotironina (ng/ml)

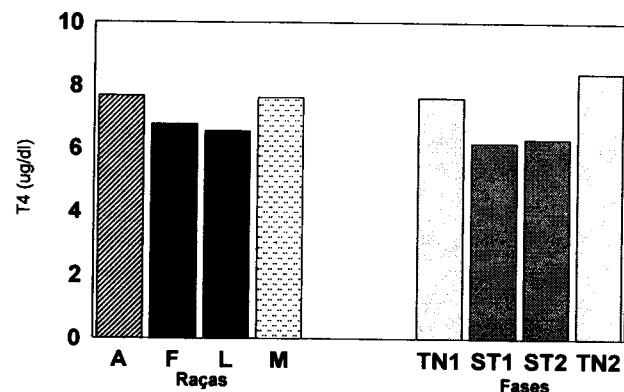


Fig. 3.31. Concentrações de tiroxina (µg/dl)

Nas Fig. 3.32. e 3.33. estão representadas as amplitudes dos valores de T_3 e T_4 e as fases da experiência em que ocorreram. Registou-se em todas raças alguma variabilidade intra-rácica, tal como é referido em vários estudos, que a referem tanto em condições de termoneutralidade como de stresse térmico.

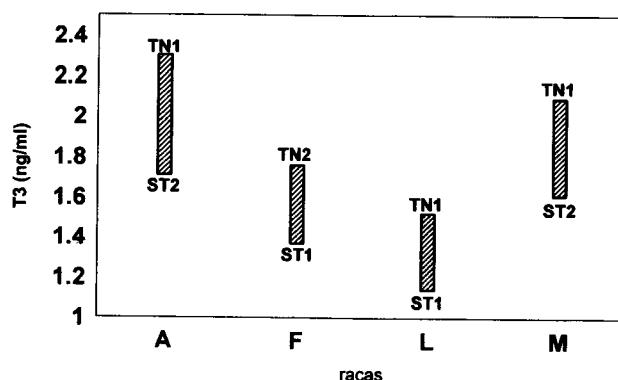


Fig. 3.32. Amplitude das concentrações de Triiodotironina e fases em que ocorreram

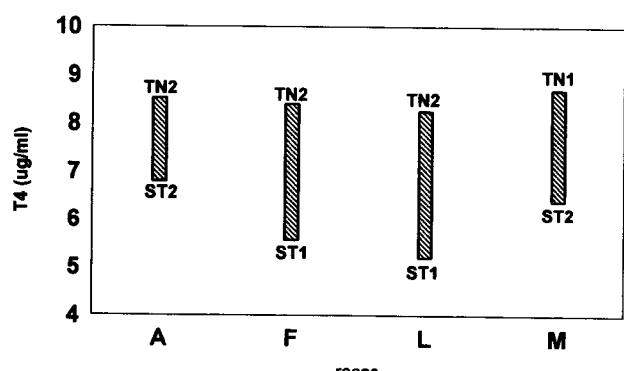


Fig. 3.33. Amplitude das concentrações de Tiroxina e fases em que ocorreram

Alguns autores sugerem que a ausência de diferenças raciais está por vezes relacionada com a

elevada variabilidade intra-rácica (Baccari Jr *et al.*, 1983; Muller *et al.*, 1994a) e que em algumas situações esta pode inclusivamente ser maior do que a verificada entre as raças (Berbigier, 1988; West, 1999).

A observação da diminuição dos níveis médios das hormonas da tireoide após três dias em condições de temperatura elevada está de acordo com vários estudos. É referido que, mesmo sob condições de estresse térmico moderado, após 48-72 horas é provável encontrar diminuições significativas nas hormonas da tireoide. Segundo alguns estudos, esta diminuição é interrompida após cerca de 108 horas em estresse térmico, havendo posteriormente uma tendência para uma estabilização (Yousef *et al.*, 1988). Porém, outros autores têm registado diminuições continuadas nos valores das T_3 e T_4 ao longo de semanas, de acordo com processos mais ou menos longos de aclimatação (Baccari Jr. *et al.*, 1983). É ainda referido que a diminuição do calor metabólico, decorrente da reorganização dos níveis hormonais, coincide com o início da diminuição das T_3 e T_4 , que se inicia normalmente 48 horas após a passagem para condições de elevada temperatura (Yousef e Johnson, 1966a; Pratt, 1986; Berbigier, 1988). As concentrações de T_3 e T_4 observadas em cada uma das raças e em cada fase são referidos na tabela 3.6..

Tabela 3.6. Concentrações de triiodotironina e de tiroxina nas raças e nas fases ($\bar{X} \pm Ep$)

Fases	Parâmetros Raça	Triiodotironina	Tiroxina
		(ng/ml)	($\mu\text{g}/\text{dl}$)
TN1	Alentejana	2,30±0,07 ^a	8,26±0,38 ^a
	Frísia	1,63±0,07 ^{ab}	6,55±0,38 ^{ab}
	Limousine	1,50±0,10 ^a	6,90±0,40 ^{ab}
	Mertolenga	2,02±0,07 ^a	8,72±0,38 ^a
ST1	Alentejana	1,88±0,07 ^{bc}	7,00±0,38 ^a
	Frísia	1,37±0,07 ^b	5,57±0,38 ^b
	Limousine	1,14±0,10 ^b	5,26±0,40 ^b
	Mertolenga	1,73±0,07 ^{ab}	6,83±0,38 ^{bc}
ST2	Alentejana	1,71±0,07 ^c	6,81±0,38 ^a
	Frísia	1,50±0,07 ^{ab}	6,49±0,38 ^b
	Limousine	1,17±0,10 ^b	5,74±0,40 ^b
	Mertolenga	1,61±0,07 ^b	5,41±0,38 ^c
TN2	Alentejana	2,10±0,07 ^{ab}	8,52±0,38 ^a
	Frísia	1,76±0,07 ^a	8,40±0,38 ^a
	Limousine	1,51±0,10 ^a	8,25±0,40 ^a
	Mertolenga	1,91±0,12 ^{ab}	8,45±0,38 ^{ab}

Índices superiores minúsculos diferentes indicam diferenças significativas ($P<0,05$) dentro das raças e entre as fases (pelo método SNK).

As variações nas concentrações de T_4 evidenciaram tendências semelhantes às das T_3 , embora com magnitudes mais reduzidas. A proximidade entre os níveis médios registados entre as diversas fases não permitiram evidenciar tão claramente as suas diferenças. Esta situação inverte-se aquando do retorno à termoneutralidade, onde os valores de T_4 obtidos em TN2, para a generalidade das raças, apresentaram maiores valores que em TN1. Apenas a raça Mertolenga, durante as fases ST1 e ST2, exibiu uma diminuição significativa dos níveis de T_4 relativamente a TN1. As demais raças não registaram quaisquer

di ferenças entre as fases.

As diferenças observadas na T_3 apresentaram maior consistência e maior amplitude. Esta ocorrência é confirmada em vários estudos, que salientam a existência de alterações mais céleres e em maior extensão nas concentrações da T_3 relativamente às de T_4 (Pratt, 1986; Ezequiel *et al.*, 1989; O'Kelly e Spiers, 1994; Lawrence e Fower, 1997).

A transição para a fase ST permitiu evidenciar três situações distintas na evolução da T_3 . Os casos das raças Alentejana e Limousine podem ser considerados como casos típicos das reacções ao calor. Ambas apresentaram decréscimos significativos das concentrações de T_3 , logo após os primeiros três dias, tal como é referido em vasta bibliografia (Blincoe, 1958; Ingraham *et al.*, 1976; Pratt, 1986; Yousef *et al.*, 1988; Muller *et al.*, 1994a; Silanikove, 2000). Perante as reacções fisiológicas que ambas exibiram, as diminuições das concentrações de T_3 conjuntamente com as reduções da ingestão de alimento, são o corolário da necessidade de reequilibrar o balanço térmico através da redução da termogénese.

Na raça Alentejana constatou-se uma tendência consistente para a diminuição dos valores ao longo de toda a fase ST (de ST1 para ST2), enquanto na raça Limousine registou-se em ST2 uma tendência para uma recuperação parcial. As variações das concentrações de T_3 exibidas pela raça Limousine são semelhantes às encontrados por (Baccari Jr. *et al.*, 1983) estudando novilhos da raça Holstein. Os valores de T_3 frequentemente referidos para bovinos em stresse térmico oscilam entre 0,96 e 1,53 ng/ml (Christopherson *et al.*, 1979; Baccari Jr. *et al.*, 1983; Cabello e Wrutniak, 1989; Muller *et al.*, 1994a), embora Magdub *et al.* (1982) tenham registado em animais em lactação da raças Frísia valores algo inferiores (0,62 ng/ml).

Na raça Mertolenga as concentrações de T_3 apresentaram uma tendência semelhante às da raça Alentejana, embora com decréscimos menos acentuados. Os primeiros três dias de temperaturas elevadas originaram apenas uma ligeira diminuição dos níveis de T_3 . Face à lenta diminuição dos níveis de T_3 , só foram registadas diferenças significativas após seis dias em stresse térmico (ST2). A redução mais gradual nos níveis de T_3 traduz a aclimação e a necessidade de favorecer um balanço mais favorável entre a termogénese e a termólise. O lento decréscimo da T_3 apenas em ST2 permite supor uma redução mais lenta e progressiva da actividade da tiróide. Devido à eficácia das vias termolíticas, que permitiram a manutenção da estabilidade da temperatura corporal, não terá havido um estímulo adicional no hipotálamo que desencadeasse uma maior redução da actividade da tiróide (Muller *et al.*, 1994a; Bligh, 1998; Hadley, 2000) e onde a manutenção da ingestão contribuiu para um estímulo positivo para a tiróide, determinando uma aclimação mais gradual (Christopherson *et al.*, 1979; Magdub *et al.*, 1982; Riis, 1983).

Na raça Frísia as elevadas temperaturas não desencadearam uma diminuição suficientemente expressiva dos níveis de T_3 que permitissem evidenciar diferenças significativas. Esta situação é inesperada, porque os animais que apresentam maiores indícios de stresse térmico são também aqueles que normalmente apresentam maiores reduções nas concentrações das hormonas da tiróide (Blincoe, 1958; Yousef *et al.*, 1988; Silva, 2000). Esta situação algo anómala parece poder ser discutida com base nas interacções estabelecidas com os níveis de ingestão.

A relação que se estabelece entre as hormonas da tiróide e a ingestão alimentar é biunívoca, ambas se influenciam reciprocamente. Os animais da raça Frísia que se encontravam numa situação de crescimento compensatório, apresentavam um balanço endócrino favorável ao anabolismo, que embora

parcialmente contrariado pelo stresse térmico, parece ter sido mantido como atesta a manutenção dos níveis de ingestão. Na verdade, se a diminuição da actividade da tiróide pode desencadear reduções na ingestão voluntária, também as maiores ingestões estimulam a tiróide (Riis, 1983; O'Kelly e Spiers, 1994). Perante as condições que terão possibilitado a manutenção da ingestão, parece provável uma influência positiva na actividade da tiróide, atenuando a tendência normal para a redução dos níveis de T_3 e de T_4 (Christopherson et al., 1979; Silanikove, 2000).

Yousef et al. (1988) salientam que, numa situação de stresse térmico, uma elevada frequência no arrefecimento ruminal, providenciada por exemplo por maior ingestão de água, provoca uma estimulação da tiróide comparável aquela que se obtém por arrefecimento localizado no hipotálamo. Na raça Frísia, a quantidade e a elevada frequência da ingestão de água, pode ter constituído um estímulo suficiente para permitir manter a secreção de Tirotropina-RH e a manutenção dos valores de Tirotropina, os quais terão permitido a manutenção da actividade da tiróide próxima dos níveis normais.

A superioridade dos valores de T_3 e T_4 nas raças nativas parece resultar de uma maior intensidade metabólica. Torna-se no entanto difícil estabelecer esta comparação entre raças, uma vez as variações podem dever-se a diferenças genéticas na produção, ligação e utilização das hormonas da tiróide (Yousef e Johnson, 1966b; O'Kelly, 1994), que são ainda susceptíveis de serem influenciadas pela massa corporal do animal e a respectiva intensidade metabólica e ainda pela relação entre o consumo energético e as necessidades de manutenção (Yousef e Johnson, 1966b; Frisch e Vercoe, 1977; Schmidt-Nielsen, 1995). Blincoe (1958) estabelecendo uma comparação entre *Bos taurus* e *Bos indicus*, refere que em situações de stresse térmico, os zebuínos apresentam maior actividade da tiróide que os taurinos. Outros autores evidenciam este facto, salientando que os níveis superiores de T_3 e T_4 em condições de stresse térmico podem ser indicadores de maior tolerância ao calor (Bianca, 1965; Post, 1965; Yousef e Johnson, 1966b).

O retorno à termoneutralidade determinou nas raças Alentejana e Mertolenga uma recuperação parcial dos valores de referência observados em TN1. Por outro lado, nas raças Frísia e Limousine os valores registados em TN2 foram superiores aos de TN1.

Aquando da transição do stresse térmico para a termoneutralidade, a recuperação da actividade da tiróide parece ocorrer mais lentamente. Após um período suficientemente longo de stresse térmico, parece necessário um mínimo de 84 horas para o completo restabelecimento das concentrações normais das hormonas da tiróide (Yousef et al., 1988).

A raça Mertolenga foi aquela que apresentou níveis de recuperação inferiores. O reajuste mais lento, após a fase de temperaturas mais altas, corresponde à forma igualmente lenta como a raça reagiu à passagem da termoneutralidade para o ambiente quente. Esta maior inércia na variação dos níveis de T_3 está provavelmente relacionada com a maior capacidade em manter a homeotermia. As raças Limousine e principalmente a Frísia apresentaram em TN2 valores superiores aos observados em TN1, o que parece revelar um mecanismo de compensação. Na raça Limousine os valores de T_3 em TN1 e TN2 são virtualmente iguais, não podendo referir-se um verdadeiro mecanismo compensatório. Contudo, na raça Frísia, o retorno à termoneutralidade, parece ter proporcionado a oportunidade de retomar, num ritmo mais acelerado, o processo de crescimento compensatório e a recuperação da sua condição corporal, sem os constrangimentos fisiológicos e metabólicos associados ao stresse térmico. A fase de crescimento compensatório não denota um aumento significativo do consumo de alimento mas principalmente uma maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes, ocorrendo com frequência concentrações das

hormonas da tireoide acima dos níveis de referência (Lawrence e Fower, 1997). Vários estudos têm vindo a demonstrar a grande influência das hormonas da tireoide no crescimento compensatório (Baccari Jr *et al.*, 1983). Nesta fase, a ingestão alimentar pode não se alterar substancialmente, mas constata-se um aumento da T₃ e da T₄, que em sinergia com a somatotrofina, valorizam a componente anabólica (Baccari Jr *et al.*, 1983; Lawrence e Fower, 1997).

As variações nas reacções fisiológicas algo discrepantes ocorridas entre as raças, resultam de interacções diferentes entre os sistemas funcionais no indivíduo. Estas relações que se estabeleceram são susceptíveis de persistirem para além do imediato alívio do distúrbio. A exposição a médio-longo prazo ou a exposição crónica a factores ambientais geradores de stresse, dá oportunidade a que o animal se aclimatize ou se adapte. Neste caso, podem ocorrer fenómenos de compensação que tendem a restaurar o desvio biológico ocorrido no início do distúrbio. Todavia, o grande significado biológico do processo será a aquisição, por parte do indivíduo, de uma capacidade adicional para integrar com mais facilidade exposições mais severas ao mesmo factor de stresse (Young e Degen, 1981).

4. ESTUDO COMPARATIVO DA INTENSIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS VIAS DE TERMÓLISE LATENTE E RESPECTIVA EFICÁCIA FACE A AUMENTOS DA TEMPERATURA DO AR EM CÂMARA CLIMÁTICA

4.1. Introdução - Enquadramento bibliográfico

Em ambientes quentes, a eficácia com que um animal dissipar calor é fundamental para a manutenção da sua produtividade. A elevação da temperatura ambiente determina uma redução do gradiente térmico que se repercuta na maior dificuldade em dissipar calor por via sensível o calor metabólico produzido. Para contrariar esta tendência o animal responde, numa primeira, fase com a vasodilatação periférica e com determinadas atitudes comportamentais, que se conjugam para promover o aumento da condutividade dos tecidos e o aumento da temperatura periférica (Cossins e Bowler, 1987).

A capacidade de alterar o fluxo sanguíneo à periferia é uma característica de todos os vertebrados, que foi desenvolvida ao longo do processo evolutivo como uma das primeiras funções fisiológicas de termorregulação (Jessen, 2001). Esta variação do fluxo sanguíneo é um meio eficaz para transferir energia térmica do interior do corpo para o ambiente externo, e constitui o único meio controlável de distribuição dessa energia pela superfície do corpo. Porém, é difícil quantificar o fluxo de calor transportado pelo sangue desde o interior do corpo até à periferia, devido à complexidade da configuração dos corpos e porque as artérias irrigam outros órgãos além da epiderme (Silva, 2000).

Durante a vasodilatação periférica o maior volume sanguíneo presente à periferia encontra-se a uma temperatura mais próxima da temperatura do núcleo do corpo, devido à redução das permutas de calor por contracorrente. O aumento da temperatura cutânea permite, pelo menos no curto prazo, criar condições mais favoráveis para a dissipação de calor por convecção e por radiação. Uma maior facilidade em dissipar calor origina que os processos de termólise sensível continuem eficazes durante mais tempo e a temperaturas mais altas, retardando por isso a activação dos processos de termólise latente. Vários autores salientam que as raças zebuínas, sem necessidade de recorrerem às vias evaporativas, continuam confortáveis a temperaturas mais elevadas relativamente às raças *Bos taurus* de clima temperado, o que é atribuído à maior facilidade de perder calor sensível (McArthur, 1981; Finch, 1985; Robertshaw, 1985).

Com o aumento da temperatura ambiente constata-se invariavelmente uma crescente incapacidade de dissipar calor por via sensível. Devido a uma progressiva diminuição do gradiente térmico entre a temperatura corporal e a temperatura ambiente, os processos de condução e de convecção tornam-se progressivamente menos eficazes. Perante este cenário, para que o balanço térmico adequado possa ser mantido, torna-se inevitável o recurso à termólise latente, que é independente do gradiente térmico.

Os processos de dissipação de calor latente, a polipneia e a sudação, são funcionalmente diferentes, embora semelhantes na forma como cumprem os objectivos. As diferentes intensidades de utilização da polipneia e da sudação que se observam entre as espécies sugerem duas questões: até que ponto a sudação e a polipneia fornecem alguma pista relativamente à evolução da homeotermia; e até que ponto a maior preponderância da polipneia e/ou da sudação pode ser relacionável com características anatómicas das espécies ou do ambiente em que vivem.

Bligh (1998) refere que a polipneia térmica parece preceder evolutivamente a sudação. Apresenta como argumento o facto de os répteis e as aves utilizarem a polipneia, enquanto que a sudação ocorre apenas em alguns mamíferos. Na verdade, a polipneia pode ser considerada como uma aptidão presente

em alguns mamíferos e aves e que deriva directamente dos seus ancestrais ectotérmicos. A capacidade de suar (que ocorre apenas em alguns mamíferos) parece ser um produto relativamente recente da evolução, embora tal não tenha sido definitivamente confirmado (Bligh, 1998; Jessen, 2001).

A importância relativa das vias de termólise latente, bem como a extensão da sua utilização, variam consoante as espécies. Observam-se espécies que quase só realizam a polipneia, outras que apenas suam e ainda outras que realizam as duas coisas (McArthur, 1981; Wilson, 1989). Parece verificar-se uma componente filogenética na forma e intensidade de utilização da termólise latente. Em primatas e equídeos predomina a sudação enquanto que em carnívoros e roedores a polipneia prevalece (Bligh, 1998). Nos marsupiais a termólise evaporativa inclui também o espalhamento da saliva pelo corpo (Cossins e Bowler, 1987). Nos bovídeos e em muitos ungulados selvagens coexistem ambas embora com diferentes graus de importância. Um aspecto relevante parece ser a massa corporal. Em animais com menor massa corporal parece ser mais comum uma preponderância da polipneia, enquanto que os de maior tamanho parecem utilizar preferencialmente a sudação. Todavia, verificam-se demasiadas exceções que levam a supor outras influências (anatómicas e adaptativas) e a participação de outros factores (características climáticas).

Ambas as vias de termólise evaporativa apresentam uma componente passiva e obrigatória. Mesmo em termoneutralidade ou em ambiente frio o ar expirado pelo tracto respiratório contém mais vapor de água que o ar inspirado, ocorrendo portanto perda de calor. A pele também permite a passagem de quantidades variáveis de água por difusão, processo designado perspiração insensível. Esta perda de água cutânea é bastante variável e está dependente da pressão de vapor do ar e da temperatura da pele. Em bovinos sob condições de termoneutralidade podem ser perdidos cerca de $10 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Quando a temperatura aumenta ligeiramente, verifica-se um aumento da temperatura da pele devido à vasodilatação periférica, o que origina um incremento da perda de água que pode atingir $30 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ (Ingram e Mount, 1975).

Nos bovídeos, a polipneia térmica é um complemento importante ao concomitante aumento da taxa de sudação. A polipneia térmica é a primeira evidência exibida pelos animais na resposta ao calor, embora cronologicamente este mecanismo termolítico seja desencadeado em terceiro lugar, após a vasodilatação periférica e a sudação.

Exceptuando nas condições de stresse térmico mais severas, os bovinos realizam polipneia de boca fechada, realizando as permutes de calor no tracto respiratório superior. Durante a inspiração, o ar é humidificado e aquecido ao longo da passagem pela mucosa nasal até atingir a temperatura nuclear. Durante o processo há um progressivo arrefecimento da mucosa. Na expiração, o ar deixa os pulmões saturado de vapor de água e à temperatura do núcleo do corpo. A sua passagem pela mucosa arrefecida origina uma condensação parcial, verificando-se assim, principalmente na mucosa nasal, uma recuperação parcial da água e do calor retirado da superfície da mucosa aquando da inspiração (Cossins e Bowler, 1987; Jessen, 2001). Para que o processo seja mais eficiente é necessário que se verifique o aumento da secreção de fluido na mucosa associado ao tracto respiratório superior e uma extensa vasodilatação. A mucosa nasal apresenta um complexo sistema vascular e de anastomoses arterio-venosas que permitem um ajustamento vasomotor na sua superfície da mucosa de acordo com a necessidade em dissipar calor. O efeito da vasoconstricção durante a expiração faz com que se verifique menor condensação, restringindo a reaquisição de calor. O calor sensível permitido neste processo é na maioria dos casos negligenciável

comparado com os valores da permuta por calor latente (Louw, 1993). Este processo funciona com mais eficiência nas espécies com mucosas nasais mais extensas. O sangue venoso, arrefecido na mucosa nasal, irá posteriormente passar para o interior do *sinus cavernosus*, onde será parcialmente reaquecido na rede carotídea pelo sangue arterial que circula na carótida. Esta permuta de calor por contracorrente que ocorre na *rete mirabilis*, permite que o sangue irrigue o encéfalo à temperatura fisiologicamente adequada. A diferença entre a temperatura encefálica e a do núcleo do corpo pode variar entre 0,5 e 2°C (Lee, 1972; Louw, 1993; Schmidt-Nielsen, 1997). Esta permuta de calor, que se reflecte no encéfalo por um arrefecimento selectivo, é essencial nos animais que são forçados a despender intenso esforço físico em regiões quentes. Dessa forma conseguem manter a temperatura encefálica nos níveis adequados, mesmo com uma elevada produção de calor metabólico originado pela actividade muscular (Jessen et al., 1994).

Em regiões áridas, este processo também confere uma vantagem comparativa nos animais que apresentam heterotermia limitada (bradimetabolismo), pois possibilita além de uma termorregulação bastante eficiente uma relevante poupança de água. Em condições de fraca disponibilidade hídrica, o dromedário (*Camelus dromedarius*) e as duas espécies de órix (*Oryx gazella gazella* e o *Oryx gazella beisa*) são os exemplos mais elucidativos de animais que realizam a hipertermia adaptativa, embora esta também ocorra em menor extensão no elande (*Taurotragus Oryx*), na gazela Grant (*Gazella grantii*) e parcial e transitoriamente na impala (*Aepycerus melampus*) e nas duas espécies de dik-dik (*Madoqua kirki* e *Madoqua guentheri*) (Lee, 1972; Wilson, 1989; Lovegrove, 1999; Schmidt-Nielsen, 1997;). A extensão da utilização do bradimetabolismo depende em boa parte da massa corporal, do balanço hídrico e do metabolismo individual (Wilson, 1989). A maior massa corporal (e consequente menor superfície específica) possibilita uma maior versatilidade no recurso ao aumento da temperatura corporal. A heterotermia periférica e as relações com a termólise respiratória são mais fáceis de gerir. Nos animais mais pequenos como cabrinha de leque (*Antidorcas marsupialis*) ou mesmo a impala (*Aepycerus melampus*), a menor inércia térmica reduz a margem para modificações no seu conteúdo energético (Lee, 1972).

Segundo Hahn et al. (1997), a taxa com que aumenta a F_{resp} não é constante no tempo. Numa primeira fase, em que prevalecem os estímulos provenientes dos termossensores periféricos, apenas se verificam ligeiros acréscimos na frequência respiratória. No entanto, estes tornam-se progressivamente maiores à medida que vai aumentando a temperatura do ar, e/ou quando se começam a registar apreciáveis armazenamentos de calor (McArthur, 1981; Robertshaw, 1985).

Nos bovídeos e em vários outros ungulados selvagens, o aumento da temperatura do ar determina aumentos sequenciais e variáveis da F_{resp} (Hahn et al., 1997; Hahn, 1999). A polipneia térmica é desencadeada e controlada no hipotálamo através da integração de estímulos provenientes dos termossensores centrais e periféricos. Está devidamente confirmada a grande importância dos termossensores periféricos no desencadeamento da polipneia. Vários estudos têm demonstrado que a polipneia ocorre na ausência de qualquer alteração da temperatura nuclear, funcionando como medida antecipadora (Bligh, 1972; Cabanac, 1975; Jessen, 2001). A hipertermia reforça o aumento da F_{resp} numa progressão quadrática até ser atingida a frequência de ressonância. As diferenças nas F_{resp} exibidas por animais de diferentes raças são normalmente o resultado da interacção de vários factores: idade, tamanho, condição corporal, aclimatação e genética.

O aumento da F_{resp} em patamares apenas pode indicar a forma como os animais integram as novas condições ambientais, no entanto é necessário recorrer à T_{rect} para quantificar a eficiência de utilização dos mecanismos de termólise (Hahn *et al.*, 1997).

Um efeito nefasto da polipneia térmica pode ocorrer sob condições de estresse térmico muito severo e é designada por segunda fase da polipneia térmica. Nos bovídeos, esta fase é precedida por um período em que a F_{resp} atingiu o seu valor máximo, passando a polipneia realizar-se com a boca aberta e com intensa sialorreia (Ingram e Mount, 1975). Nesta segunda fase a F_{resp} apresenta um decréscimo acentuado, constatando-se no entanto um ligeiro aumento da ventilação total que se verifica à custa do aumento da ventilação alveolar (Findlay e Hales, 1969; Cossins e Bowler, 1987). O processo de retro-alimentação negativa entre a pressão do CO₂ no sangue e a ventilação alveolar é abolido e verifica-se uma continuada diminuição do CO₂ arterial, que pode atingir 65% dos valores normais, culminando numa alcalose sanguínea. Porém, em condições naturais, não é muito frequente que os animais atinjam balanços térmicos tão desfavoráveis que conduzam a esta fase (Jessen, 2001).

Factores como o aumento da humidade relativa ou a radiação solar directa, determinam *per si* e num curto intervalo de tempo, o aumento da F_{resp} (Findlay e Ingram, 1961; Ingram e Mount, 1975). Em bovinos de climas temperados, sujeitos a temperaturas ambientais entre 15 e 20°C, verifica-se que a 15°C a F_{resp} aumenta em 3 mov./min por cada aumento de 1°C, enquanto que a 25°C o aumento é de 6 mov/min (Findlay e Ingram, 1961).

A eficiência da polipneia, ou seja, a razão entre a quantidade de calor dissipado por essa via e o calor metabólico produzido, depende essencialmente da pressão de vapor do ar inspirado. No entanto, para qualquer valor de humidade, mais água pode ser evaporada quanto maior for a temperatura do ar. Também o aumento da temperatura corporal facilita a evaporação da água e a perda de calor embora o aumento da temperatura corporal também implique um aumento da produção de calor pelo efeito de Arrhenius-Van't Hoff. A polipneia envolve um esforço adicional e consequentemente um aumento da produção de calor. O incremento do consumo de O₂ que se verifica nesta situação pode dever-se tanto ao efeito de Arrhenius-Van't Hoff (que depende largamente do valor de Q₁₀) como ao esforço muscular adicional. Hales e Findlay (1968) citados por Ingram e Mount (1975), referem que o custo energético de um rápido aumento da frequência respiratória pode corresponder a 0,5ml de O₂ por litro ou a 1,2 ml no caso de temperaturas corporais superiores. Todavia, numa situação de polipneia estabilizada, parece não existir um aumento significativo do consumo de O₂. Tal parece poder ser explicado pela irrigação diferenciada dos músculos associados à respiração. Enquanto se observa um aumento do fluxo sanguíneo nos músculos envolvidos na respiração (principalmente ao nível do diafragma) os outros apresentam uma redução no fluxo sanguíneo. Se o fluxo sanguíneo para os músculos é susceptível de reflectir uma alteração do consumo de oxigénio, então a diferença na irrigação poderá explicar a fraca alteração do consumo global de oxigénio. Além disso, a possibilidade de realizar a polipneia de acordo com a frequência de ressonância dos tecidos pode repercutir-se numa clara poupança energética (Finch, 1986).

Schmidt-Nielsen (1995) sugeriu que a frequência de ressonância é proporcionalmente menor nos animais com maior massa, de acordo com a equação $F_{resp} = 53,5M_{corp}^{-0,26}$ [mov/min]. Esta situação estabelece que o limite máximo de calor suscetível de ser perdido por polipneia é proporcionalmente maior nos animais mais pequenos. Por outro lado, a taxa de ventilação também cresce menos que proporcional à

massa corporal, o que predispõe a que animais de menor massa ventilem maior volume de ar por unidade de tempo e de massa corporal, de acordo com a equação $T_{vent} = 379M_{corp}^{0,80}$ [min⁻¹] (Schmidt-Nielsen, 1995).

A sudação é um processo activo com base no funcionamento das glândulas sudoríparas. Estas parecem ter evoluído a partir de glândulas presentes em anfíbios e répteis, as quais também se encontram envolvidas por um rede mioepitelial.

Durante muito tempo acreditou-se que os bovídeos não suavam. Tal ideia era baseada apenas na observação do aumento da frequência respiratória durante os períodos mais quentes e que se supunha ser a única via evaporativa de dissipação de calor. Embora o conhecimento das glândulas sudoríparas em bovinos remonte a 1835, a importância destas e da sudação foi apenas salientada por Ferguson e Dowling, (1955) e por Dowling (1955).

McLean (1963a) demonstrou que os bovinos europeus (*Bos taurus*), sob efeitos de elevadas temperaturas, dissipavam cerca de 75% do calor latente através da sudação. Nos zebuínos (*Bos indicus*) a proporção tende ainda a ser maior devido à menor contribuição relativa da polipneia térmica (Finch et al., 1982).

As glândulas dos bovinos são apócrinas. São constituídas internamente por uma camada de células secretoras de forma poliédrica e externamente por uma camada de miofibrilhas. Apresentam a sua abertura dentro do folículo e as suas células secretoras descarregam dentro do lúmen glandular um fluido hipotônico. O ducto apresenta-se quase recto e mais estreito que a parte secretora. A abertura na pele pode localizar-se mais ou menos próxima do folículo piloso. As glândulas são também consideradas epitíquias devido à sua associação a um folículo piloso (Elder et al., 1977).

O processo de secreção é efectuado através do crescimento de uma protuberância em direcção ao lúmen. Posteriormente, há a ruptura das membranas das células secretoras disponibilizando um fluido hipotônico no lúmen contendo electrólitos, substâncias gordas e material protoplasmático. Contudo, as células glandulares não são destruídas e continuam a descarregar o fluido segregado até que ocorra uma nova etapa de recrescimento (Bligh, 1967). Alguns autores consideram por isso que estas glândulas são merócrinas, porque não está inteiramente comprovado que nelas ocorra uma perda importante de material citoplasmático durante o processo de secreção (Silva, 2000).

As glândulas apócrinas nos bovinos apresentam um funcionamento descontínuo. O processo de sudação inicia-se com a acumulação de fluido nas células epiteliais. Esta acumulação cria um gradiente hidrostático que promove a passagem de líquido através das paredes celulares para o lúmen das glândulas. O fluido hipotônico é posteriormente disponibilizado na superfície da epiderme, que ocorre devido a dois processos: extravasamento do fluido acumulado e contracções das células mioepiteliais (Ingram e Mount, 1975).

Nos bovinos, as descargas de suor na epiderme podem por isso apresentar intermitências devido às contracções mioepiteliais, as quais ocorrem de forma sincrónica ao longo de uma extensa superfície da epiderme. Os padrões de descarga de suor indicam que a taxa de sudação aumenta substancialmente em resposta ao calor, com uma contínua deslocação do fluido do lúmen para a superfície da pele (Bligh e Allen, 1970). No entanto, as periódicas contracções mioepiteliais permanecem, produzindo os característicos picos de aumentos da taxa de sudação. A percepção de que os equinos e os bovinos mantêm um fluxo quase contínuo de suor perante a stresse térmico, resulta do extravasamento

continuando do suor na superfície da pele. Os acréscimos no volume de suor resultantes das contracções episódicas do mioepitélio tendem a diluir-se relativamente à quantidade de suor disponibilizado na superfície da pele. No entanto, perante o stresse térmico, observa-se que a taxa de sudação obedece a um padrão mais definido, evidenciado por taxas crescentes, sendo imperceptíveis os efeitos das contracções mioepiteliais (Cossins e Bowler, 1987).

As glândulas apócrinas (epitriquias) são descritas em várias espécies. A sua importância relativa pode diferir consideravelmente tanto entre as espécies como dentro do próprio indivíduo. Nay (1959) citado por Silva (2000) refere, pela primeira vez, grandes diferenças estruturais nas glândulas sudoríparas de bovinos de diferentes origens. As glândulas dos animais de origem europeia tendem a apresentar uma forma enovelada e um diâmetro menor (até 100 μm). Os zebuíños apresentam glândulas com morfologia em forma de saco e com maior diâmetro (180-200 μm). Alguns *Bos taurus* adaptados ao calor parecem desenvolver estruturas intermédias. As raças Jersey e Shorthorn seleccionadas para a tolerância ao calor (Illawarra Australiano), apresentam algumas semelhanças morfológicas com os zebuíños, com glândulas em forma de saco mas de menores dimensões (Jenkinson e Nay, 1972).

Jenkinson e Nay (1972) referem que, em bovinos de raças espanholas e portuguesas (raças omissas) as glândulas sudoríparas apresentam forma de saco e folículos pilosos próximos da epiderme, embora com evidente heterogeneidade volumétrica.

Grande parte das raças africanas, tanto do grupo dos zebus (como a raça Boran ou Shuwa) como do grupo dos bovinos de menor tamanho (como os Dahomey) apresentam glândulas com morfologia em forma de saco mas com uma relação entre comprimento e diâmetro bastante variável. Outros bovinos africanos, pertencentes ao grupo dos zebus de cornos longos (Red Bororo) ou aos do grupo Sanga (Ankole), apresentam glândulas com morfologia enovelada, mais semelhantes aos bovinos europeus (Jenkinson e Nay, 1973).

A morfologia das glândulas sudoríparas varia com a fase de crescimento do pelo (Amakiri e Hill, 1975). As glândulas de maiores dimensões são frequentemente encontradas em associação com as fases metabolicamente mais activas do crescimento do pelo (anagénese e catagénese), observando-se o contrário quando decorre a fase de telogénese (Schleger, 1966).

O volume das glândulas sudoríparas apresenta uma grande heterogeneidade. Alguns autores têm referido que as raças zebuínas tendem a apresentar volumes superiores, embora nem sempre tal se verifique (Mc Farlane, 1964; Mc Farlane, 1974; Udo, 1978). Em bovinos *Bos taurus* das raças Frisia, Ayrshire e Illawarra foram observados valores de 14,10, 14,00 e 11,77. $10^6\mu\text{m}^3$, respectivamente. Estes valores contrastam com outros registados em outros animais em locais diferentes das raças Shorthorn e Ayrshire que apresentaram valores de 2,00 e 5,74. $10^6\mu\text{m}^3$; respectivamente (Silva, 2000). Nas raças zebuínas e de outros grupos genéticos adaptadas às condições tropicais verifica-se heterogeneidade semelhante. São exemplos os casos das raças N'Dama, Muturu, Indubrasil, Sahiwall, Afrikander e Santa Gertrudes que apresentaram valores de 10,46, 4,95, 6,69, 4,95, 6,69, 40,00, 17,00 e 3,00. $10^6\mu\text{m}^3$, respectivamente (Jenkinson e Nay, 1973).

Dentro de cada raça a variação é também muito elevada. Mesmo em locais semelhantes, foi observado na raça Brahman animais com volumes glandulares de 5,00. $10^6\mu\text{m}^3$ e outros com 26,00. $10^6\mu\text{m}^3$. Situação semelhante ocorreu com a raça Shorthorn que apresentou volumes de 2,00 e de 8,00. $10^6\mu\text{m}^3$

(Jenkinson e Nay, 1972, 1973; Jenkinson e Nay, 1975). Tal como a morfologia, o volume das glândulas sudoríparas parece estar dependente de reajustes sazonais associados à temperatura ambiente. Durante o Inverno o volume das glândulas pode atingir metade do volume exibido durante o Verão, sendo portanto o estado de aclimatação sazonal em que são realizadas as medições uma fonte de variação provável.

O número de glândulas sudoríparas está definido à nascença, a densidade vai diminuindo ao longo do processo de crescimento. Muitos trabalhos reportam-se à densidade das glândulas sudoríparas por contagem dos folículos pilosos. Também aí a variabilidade é muito grande. Dowling (1955) salienta que a variabilidade encontrada, desde 582 a 1870 folículos/cm², pode derivar em boa parte da metodologia adoptada para as contagens. A contabilização das fibras emergentes pode introduzir um erro de 20%. A biópsia permite quantificar com elevado grau de rigor a densidade folicular e por conseguinte a densidade das glândulas sudoríparas.

A densidade das glândulas sudoríparas é muito variável tanto entre raças como no próprio indivíduo. Findlay e Yang (1951) citados por Silva (2000) encontraram em zebuínos 1000 glândulas por cm² na parte distal dos membros, 2000 no tronco e 2500 no pescoço. Murray (1966) apresentou valores médios de 1626.cm⁻² na raça Santa Gertrudes e de 1276.cm⁻² na raça Hereford. Taneja (1960) verificou que os bovinos cruzados de zebu tendem a apresentar maior densidade de glândulas sudoríparas relativamente ao Shorthorn. Contudo, essa vantagem parece ocorrer apenas na região dorsal e nas espáduas, onde os cruzados apresentaram valores médios de 2196. cm⁻² e os Shorthorn 1787.cm⁻². Dowling (1955) observou uma disparidade semelhante entre taurinos e zebuínos, no entanto os valores médios foram em média menores para ambos os grupos: 1698.cm⁻² para os zebus e 1321.cm⁻² para os taurinos. No próprio indivíduo a espádua e a face dorsal do tronco são as regiões que apresentam densidades superiores. As menores densidades são observadas em geral em toda a face ventral, na barbela e nas extremidades.

Perante a heterogeneidade na distribuição das glândulas sudoríparas ao longo do corpo, a taxa de sudação deve ser medida numa área que seja representativa do valor médio ponderado. Com efeito, a taxa de sudação não é homogeneamente distribuída pela superfície da epiderme. Schleger e Bean (1971) demonstraram que a variação dentro de cada indivíduo pode ser superior a 300%. Factores como a densidade parecem ser determinantes nessa variação, embora as maiores taxas de sudação pareçam estar mais associadas a regiões onde a espessura da pelagem é inferior (McLean, 1963a; Schleger e Turner, 1965). A densidade e a morfologia das glândulas sudoríparas são muitas vezes apontadas como os factores mais relevantes nas diferenças observadas nas taxas de sudação (Taneja, 1960; Schleger e Bean, 1971). Porém, vários estudos demonstraram que, embora estas características devam ser consideradas, não são suficientes para explicar *per si* as diferentes taxas de sudação (Amakiri, 1974; Finch, 1986). Resultados elucidativos são referidos por Amakiri e Mordi (1975), salientando que a taxa de sudação é distinta consoante as diversas regiões do corpo e independente da densidade, do volume e da forma das glândulas sudoríparas.

As duas características que parecem estar mais directamente relacionadas com o suor produzido pela glândula sudorípara são: a densidade e o calibre dos vasos sanguíneos presentes na sua periferia e a actividade do folículo piloso (Finch, 1986). Quando o animal é submetido a temperaturas elevadas ocorre um maior fluxo sanguíneo na epiderme. Este fluxo proporciona às glândulas sudoríparas um suprimento adicional de matérias-primas e um estímulo para uma acumulação de fluido nas células epiteliais, que por sua vez origina um aumento da força hidrostática que propicia uma maior e mais rápida passagem do suor

para o lúmen glandular (Schleger e Bean, 1971; Finch, 1986).

Existe uma relação próxima entre as actividades glandular e folicular. A irrigação sanguínea da glândula provém principalmente do plexo capilar da zona queratogénica folicular. Quando o folículo está na sua fase quiescente a sua irrigação é mínima e o nível de actividade da glândula é reduzida ou mesmo nulo. Os folículos inactivos, que entretanto regrediram para uma posição acima da glândula, não podem contribuir para uma maior irrigação sanguínea, uma vez que, nesta fase, a única conexão vascular entre a glândula e o folículo é um único e fino capilar da papila dérmica (Schleger e Bean, 1971).

A densidade de glândulas activas na epiderme constitui por isso um dado importante. Nem todas as glândulas sudoríparas se encontram activas num determinado momento, estabelecendo uma estreita dependência com o ciclo de actividade dos próprios folículos pilosos. A aclimatação sazonal interfere no processo. Durante o verão, maior número de folículos pilosos estão activos e consequentemente maior número de glândulas apresentam melhores condições para produzirem suor, possibilitando taxas de sudação superiores (Schleger e Turner, 1965; Silva, 2000). Nos trópicos, em que os animais estão grande parte do tempo sujeitos a temperaturas elevadas, o número de glândulas sudoríparas activas é superior, repercutindo-se também em maiores taxas de sudação (Murray, 1966; Allen *et al.*, 1970; Silva, 2000).

Nos animais que transitaram de ambientes temperados para os ambientes tropicais a taxa máxima de sudação tende a aumentar de acordo com o avanço do processo de aclimatação. Este aumento da taxa de sudação pode decorrer do maior volume de sangue que circula à periferia e da renovação da pelagem, que origina um maior número de folículos pilosos activos. Indirectamente as glândulas sudoríparas irão usufruir destas novas condições, aumentando a sua secreção (Schleger, 1966; Allen *et al.*, 1970; Udo, 1978).

A heterogeneidade dos valores das taxas de sudação obtidas no próprio indivíduo determinou a realização de estudos identificassem o local mais adequado para efectuar essas medições. Yeates (1965) citado por Silva (2000), McLean (1963c) e Amakiri e Mordi (1975) estudaram exaustivamente as taxas de sudação de várias regiões da superfície de bovinos. Os resultados foram coincidentes e sugerem que o valor representativo da taxa de sudação média pode ser obtido na região centro-lateral do tronco, na posição mediana, entre a 10^a e 11^a costelas.

A medição da taxa de sudação (T_{sd}) apresenta bastantes problemas metodológicos. Devido à interacção que se estabelece entre a T_{sd} e as temperaturas da pele e da pelagem, é difícil identificar um método definitivamente satisfatório, que seja exacto e de simples execução. Com efeito, a maioria dos métodos pressupõem a medição directa na superfície da pele, o que implica necessariamente algumas alterações no equilíbrio estabelecido entre a pele e a pelagem. Torna-se por isso difícil evitar algumas influências externas nas temperaturas da pele e da pelagem, na pressão parcial de vapor, nos respectivos gradientes térmicos e nos níveis de convecção.

Várias metodologias têm por isso sido propostas e poder-se-ão dividir em dois grandes grupos: as que requerem a depilação e as que mantêm a pelagem integral.

Dentro do primeiro grupo existem vários métodos, a maioria dos quais utiliza a pesagem de um material higroscópico antes e depois da sua colocação sobre a superfície da pele. Vários materiais têm sido testados: papel de filtro, solução saturada de brometo de sódio, cloreto de cálcio (Ferguson e Dowling, 1955; Allen, 1962; Johnson, 1970).

Outra metodologia baseia o seu funcionamento na colocação de campânulas ventiladas sobre a pele.

Esta metodologia simula de forma mais eficiente os efeitos convectivos sobre a pele, ao fazer circular sobre esta um fluxo de ar com determinada velocidade e com características higrófilas conhecidas. O resultado obtido deriva da variação do teor em vapor de água à entrada e à saída da campânula. Vários autores desenvolveram diferentes mecanismos de controle, com interposição de diferentes psicrómetros ou com a colocação de diferentes substâncias higroscópicas (Taneja, 1959a; McLean, 1963a; Gatenby, 1986).

Um método colorimétrico foi desenvolvida por Berman (1957) e modificado por Schleger e Turner (1965). Utiliza discos de papel de filtro impregnados com uma solução de cloreto de cobalto a 10%. Apresenta uma maior versatilidade e facilidade de aplicação, podendo ser facilmente utilizado em condições de campo, razão pela qual tem sido bastante difundido.

As metodologias que não necessitam da depilação de uma região dos animais visam quantificar a taxa de sudação de uma forma mais natural, evitando as interferências decorrentes da depilação. Uma das metodologias que foi desenvolvida baseia-se na análise do gradiente de pressão de vapor. A colocação do animal num ambiente fechado, sujeito a um fluxo de ar com características higrófilas conhecidas, permite a medição do gradiente da pressão de vapor entre o ar que entra e o que sai. Colocando uma máscara respiratória no animal para obter o vapor de água produzido pela respiração, obtém-se indirectamente a taxa de sudação. Esta metodologia apresenta contudo uma grande limitação. Devido à obrigatoriedade da existência de uma câmara hermética e um elevado controlo nos fluxos de ar circulantes, não permite a utilização no exterior sob condições radiação solar (Alvarez *et al.*, 1971).

Outra metodologia disponível recorre a balanças de precisão que vão medindo as diferenças de peso do animal, pressupondo que essa diferença decorre da perda de água. Essa perda de água é depois integrada em equações onde é contemplado o calor latente de vaporização, obtendo-se indirectamente o calor latente perdido (Finch *et al.*, 1982).

Recentemente têm sido referidas metodologias que utilizam micropsicrómetros colocados no interface pele/pelagem. Outras metodologias relacionam o grau de hidratação da pele, resultante da taxa de sudação, com a respectiva resistividade eléctrica.

A eficiência da sudação está parcialmente dependente da natureza da pele e da pelagem. Pelagens mais espessas, com pêlos mais longos e com maiores ângulos de inserção, influenciam negativamente a eficiência de evaporação do suor (Allen *et al.*, 1970). Se a superfície da pele está coberta com uma pelagem longa e densa verifica-se que o seu interior vai ficando com maior pressão parcial de vapor, diminuindo a velocidade de evaporação do suor na pele (Louw, 1993). Quantidades variáveis de suor tendem por isso a evaporar mais longe da superfície cutânea. Dessa forma, o calor retirado da evaporação não deriva directamente da superfície da epiderme mas do ambiente dentro da pelagem, o que torna menos eficiente a sudação como via de dissipaçāo de calor (Schleger e Turner, 1965; Schleger e Bean, 1971).

Apesar dos factores apresentados, o genótipo é determinante na ocorrência de diferenças. As raças zebuínas apresentam normalmente taxas médias de sudação superiores às raças de climas temperados. Titto *et al.* (1998) utilizando o método desenvolvido por Schleger e Turner (1965) encontraram valores de 216 g.m⁻².h⁻¹ em bovinos da raça Nelore, 126 g.m⁻².h⁻¹ em bovinos da raça Marchigiana e 124 g.m⁻².h⁻¹ em bovinos da raça Simental. Murray (1966), em câmara climática a 34°C e utilizando cápsulas ventiladas, observou diferenças nas T_{sd} entre animais com diferentes percentagens de sangue zebuíno: 218 g.m⁻².h⁻¹,

252 g.m⁻².h⁻¹ e 237,7 g.m⁻².h⁻¹ respectivamente para ¾ Santa Gertrudes x ¼ Shorthorn, ¼ Santa Gertrudes x ¾ Shorthorn e puros Hereford (estes com sintomas mais acentuados de estresse térmico).

Em muitos estudos em que os bovinos são sujeitos a estresse térmico moderado não são observadas quaisquer diferenças nas T_{sd} entre *Bos taurus* e *Bos indicus*, podendo mesmo ocorrer situações em que as raças taurinas exibem valores superiores (Moran, 1973). Finch *et al.* (1982) utilizando metodologia de medição de peso, observou que a 30°C a T_{sd} dos animais Shorthorn (328 g.m⁻².h⁻¹) foi superior à dos animais Brahman (299 g.m⁻².h⁻¹), embora sem diferirem estatisticamente.

Em bovinos adaptados a ambientes quentes também se observam algumas diferenças nas taxas de sudação. Em trabalhos realizados na Nigéria, com temperaturas de 36°C, a raça zebuína africana White Fulani apresentou uma produção de suor média de 252,3 g.m⁻².h⁻¹, enquanto que as raças N'Dama do grupo West African Longhorn e a Muturu do grupo West African Shorthorn, apresentaram valores de 220,3 g.m⁻².h⁻¹ e 211,9 g.m⁻².h⁻¹, respectivamente (Amakiri e Mordi, 1975).

Muitas das diferenças ocorridas entre genótipos a uma determinada temperatura devem-se em boa parte a diferenças na eficiência da termólise sensível. A maior eficiência na dissipação de calor sensível origina que o início da sudação ocorra a temperaturas ambiente mais altas. É também sugerido que a maior eficiência na evaporação do suor nos zebus possa explicar em parte as menores taxas de sudação a temperaturas moderadas (Schleger e Turner, 1965). Portanto, para que as comparações entre raças e entre ambientes se possam realizar, é indispensável a existência de um referencial comum que possa medir não apenas a taxa de sudação, mas principalmente a eficácia desta na manutenção da estabilidade da temperatura corporal.

A evolução da taxa de sudação a temperaturas ambiente crescentes é desigual entre taurinos e zebuínos. Nos taurinos parece haver um progressão inicial mais linear entre a taxa de sudação e a temperatura ambiente, enquanto que nos zebus a sudação só se incrementa a partir de temperaturas mais altas (29,5°C) (Amakiri e Mordi, 1975). Quando se relaciona a taxa de sudação com a temperatura rectal observa-se que nos taurinos a sudação atinge o máximo e estabiliza antes da temperatura corporal atingir os 40°C. Nos zebus, dentro dos normais limites de variação da temperatura corporal, não é perceptível qualquer indício de estabilização da taxa de sudação (Finch *et al.*, 1982; Finch, 1986).

Em igualdade de circunstâncias, e tendo como referencial as mesmas alterações na temperatura corporal, os animais mais adaptados ao calor parecem reagir mais rapidamente, desencadeando mais rapidamente e com mais intensidade aumentos na taxa de sudação. Perante igual armazenamento de calor, os incrementos das taxas de sudação são superiores nos bovinos mais adaptados ao calor (Finch, 1986).

As taxas de sudação observadas no campo são em média superiores às registadas em câmara climática. Esta situação é observada tanto em *Bos taurus* como em *Bos indicus* e deve-se essencialmente à estimulação directa das glândulas sudoríparas pela radiação solar (Finch, 1986). Allen *et al.* (1970) referem que no campo, o efeito conjugado da radiação solar e da convecção permite reduzir a quantidade de vapor de água presente no interior da pelagem, estimulando também por essa via o aumento da taxa de sudação. Este argumento pode no entanto ser contestado, uma vez que a taxa de sudação também é estimulada quando se verifica uma diminuição do gradiente de pressão de vapor no interior da pelagem, originando uma exagerada produção de suor apenas pela necessidade do restabelecimento do gradiente

anterior. Os níveis de aclimatação sazonal jogam um papel determinante na interacção que se estabelece entre os níveis de radiação e a resposta da taxa de sudação.

Tendo em consideração a relevância das vias de termólise evaporativa na tolerância ao calor, foi delineada uma experiência que visou quantificar as variações no funcionamento das vias de termólise evaporativa perante níveis crescentes de temperatura do ar. A possibilidade de controlar as temperaturas na câmara climática, permite uma comparação rigorosa entre os níveis da taxa de sudação e da frequência respiratória das várias raças. Pretendeu-se assim evidenciar as relações sincrónicas entre a temperatura ambiente, os níveis de armazenamento de calor e as intensidade de utilização das vias de termólise latente.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Animais

Nesta experiência foram utilizados as mesmas 22 novilhas referidas na experiência anterior (6 das raças Alentejana, Frísia e Mertolenga e 4 da raça Limousine), as quais apresentavam pesos médios de $450,3 \pm 27,8\text{kg}$, $403,8 \pm 15,5\text{kg}$, $308,2 \pm 31,3\text{kg}$ e $470,3 \pm 39,5\text{kg}$, respectivamente. Devido às limitações de espaço nas duas câmaras climática, foi necessário realizar a experiência em dois períodos diferentes.

Tendo em consideração os resultados obtidos na primeira experiência, onde se constataram diferenças entre as raças na capacidade de manter estável a temperatura corporal, optou-se por colocar em cada câmara apenas animais da mesma raça. Desta forma, possibilitou-se um controlo mais rigoroso dos animais, evitando que animais de uma raça estivessem sujeitos apenas a stresse térmico moderado enquanto outros poderiam estar a apresentar sintomas de falência da homeotermia.

No primeiro período foram utilizados os 6 bovinos da raça Alentejana e os 6 da raça Frísia e no segundo período 4 animais da raça Limousine e 6 animais da raça Mertolenga. O procedimento experimental, as operações de maneio e a periodicidade com que estas se realizaram foram semelhantes para todas as raças. As condições de alojamento a que os animais estiveram sujeitos foram similares às descritas na experiência anterior.

4.2.2. Esquema experimental

A experiência teve a duração de 12 dias. Esse período foi dividido em 4 fases, que se caracterizaram por 4 níveis de temperaturas crescentes. Devido à importância da humidade relativa nos processos evaporativos, foi calculado o índice de temperatura e humidade (THI) para cada um dos níveis de temperatura, utilizando a seguinte equação: $THI = 1,8 \cdot Tar - (1 - HR) \cdot (Tar - 14,3) + 32$ em que Tar é a temperatura do ar e HR a humidade relativa (Johnson, 1962 citado Berbigier, 1988). Na Fig. 4.1 estão representados os vários níveis de temperaturas ao longo dos 12 dias da experiência.

Os três primeiros níveis de temperatura, que decorreram nos primeiros 9 dias, apresentaram temperaturas constantes ao longo das 24 horas. Nestas fases, todas as raças foram sujeitas às mesmas temperaturas. Nos últimos 3 dias da experiência, optou-se por programar um ciclo de temperaturas. Os ciclos foram diferentes consoante as raças e tiveram em consideração os resultados obtidos na experiência

precedente. Assim, das 17:30h às 10:00h todas as raças foram submetidas ao mesmo ambiente térmico com $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$ temperatura e $50 \pm 3\%$ de humidade relativa, correspondendo a um THI de 75,6. Das 11:00h às 16:30h, para as raças Frísia e Limousine, a temperatura subiu para $36 \pm 1^{\circ}\text{C}$ com $40 \pm 3\%$ de humidade relativa correspondendo a um THI de 83,5, e para as raças Alentejana e Mertolenga a temperatura subiu para $40 \pm 1^{\circ}\text{C}$ com $40 \pm 3\%$ de humidade relativa, correspondendo a um THI de 87,7.

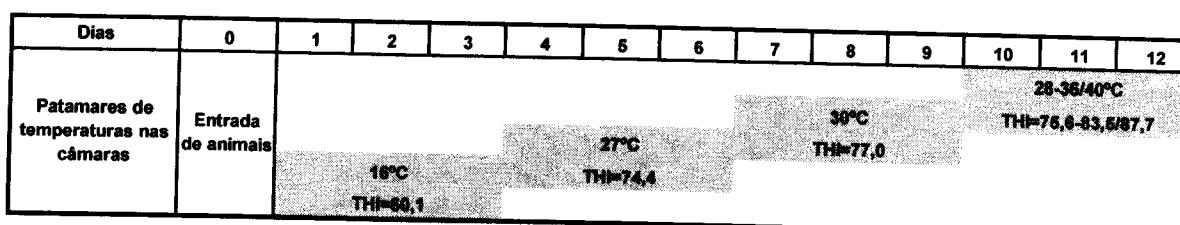


Fig. 4.1. Níveis de temperaturas ao longo do período experimental

As variações das temperaturas das câmaras aos níveis iniciais ocorreram em menos de uma hora após a reprogramação, evidenciando baixa inércia térmica. O fotoperíodo foi uniformizado para 12 horas (período diurno das 8:00h às 20:00h).

4.2.3. Alimentacão

A dieta fornecida aos animais foi constituída por 85% de silagem de milho e 15% bagaço de girassol. Os constituintes da dieta foram misturados imediatamente antes de serem distribuídos aos animais.

Os animais foram alimentados *ad libitum*, com distribuição do alimento duas vezes ao dia às 8:30h e 16:00h. As ingestões diárias de água resultaram do somatório dos montantes ingeridos entre as 8:30h e as 16:00h e entre as 16:30h às 8:00h do dia seguinte.

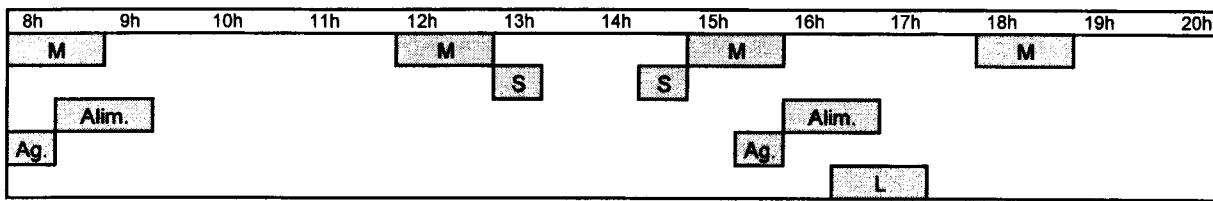
4.2.4. Medicões nos Animais

De acordo com os objectivos da experiência foram medidas as frequências respiratórias e as taxas de sudação. Foram ainda realizadas medições complementares das temperaturas da pele (T_{pl}), pelagem (T_{pg}) e da temperatura rectal (T_{rect}), indispensáveis para uma efectiva comparação inter-rácica. Estes registos serviram para uniformizar a comparação entre as raças, tendo como base a relação entre as intensidades do funcionamento das vias de termólise latente e os níveis do armazenamento de calor associados. As medições efectuadas durante o dia estão resumidas na Fig. 4.2

Ao longo dos 12 dias do período experimental foram efectuadas quatro medições diárias (8:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) da F_{corr} , T_{act} , T_{av} e T_{ext} .

A F_{resp} e a T_{rect} foram obtidas de acordo com os instrumentos e os procedimentos descritos na experiência precedente. A temperatura da pele foi medida por termómetro digital marca Digitron™, equipado com sonda de contacto tipo K e com sensibilidade de 0,1°C. Os valores médios da T_{pl} resultaram da média de 6 temperaturas obtidas nos dois lados dos animais, na zona mediana do tronco entre a região posterior à espádua até à região da antepenúltima costela.

A T_{pg} foi obtida por termómetro de infravermelho marca Digitron™ com emissividade variável e precisão de 0,1°C. Os valores médios da T_{pg} resultaram das temperaturas obtidas em 6 diferentes locais (ambas as espáduas, zona medial das costelas, ao nível das 10^a e 11^a costelas, e zona sacro-ilíaca).



M - medições das Trect, Tpl, Tpg e Fresp

S - medições da taxa de sudação

Alim - Pesagens das sobras e fornecimento de alimento

Ag - Medições do consumo de água

L - Limpeza das câmaras

Fig. 4.2. - Horário das diversas intervenções

4.2.4.1. Taxa de sudação

A metodologia adoptada para a quantificação da taxa de sudação (T_{sd}) foi adaptada do método de Berman (1957) modificado por (Schleger e Turner, 1965). Este método colorimétrico tem como base a colocação de papel de filtro impregnado com cloreto de cobalto a 10%. Quando desidratado o papel apresenta cor azul-violeta intensa e à medida que vai hidratando vai progressivamente mudando de cor, até atingir a cor-de-rosa quando saturado.

O local escolhido para medir a taxa de sudação foi a zona mediana do tronco, entre a 10^a e a 11^a costelas, 20 cm abaixo da coluna vertebral. Quando da medição da T_{sd} as áreas depiladas (com cerca de 25 cm²) foram lavadas com água destilada e secas cuidadosamente com papel absorvente.

À semelhança do que acontece com variadas metodologias utilizadas para estimar a taxa de sudação, observa-se que a metodologia adoptada apresenta algum grau de imprecisão. Para limitar os erros foi aumentado o número de medições por animal e foram descartados todos os resultados dúbios.

Quando se utiliza a metodologia preconizada por Schleger e Turner (1965), uma das maiores fontes de variação é o operador. A identificação do ponto de viragem do papel de filtro de azul-violeta para cor-de-rosa nem sempre é inequívoco. De modo a suprimir esta fonte de variação todas as medições foram efectuadas pelo mesmo operador.

Outra fonte de variação está associada à colocação e permanência na superfície da pele da fita autocolante (com os discos de papel de filtro impregnados com cloreto de cobalto). Imediatamente após a colocação da fita autocolante a aderência à pele é bastante satisfatória. No entanto, com o avançar do tempo, e com a maior quantidade de suor presente no interface, a fita autocolante perde a capacidade de aderência, originando com frequência ligeiros deslizamentos que se traduzem em erros mais ou menos expressivos nas determinações efectuadas.

Para reduzir a ocorrência de erros não sistemáticos foi planificado e construído um protótipo em acrílico transparente que serviu de suporte para a fita autocolante com os respectivos círculos de papel de filtro com cloreto de cobalto. Este dispositivo de forma rectangular apresenta em cada uma das extremidades 2 cm² de velcro. A zona de fixação da fita autocolante apresenta uma maior espessura, conferindo assim uma maior pressão sobre a pele do animal. O desenho do protótipo utilizado está

representado na Fig. 4.3.

Para conferir uma melhor aderência do dispositivo, a pelagem foi aparada na orla da área depilada. Nessas zonas foram colados segundo o plano antero-posterior 2 rectângulos de *velcro* com 2 cm^2 , de forma a que os outros rectângulos de *velcro* colados no dispositivo de acrílico pudessem aí aderir fortemente.

O sistema foi testado previamente e funcionou satisfatoriamente, permitindo uma aderência prolongada sem qualquer indício de deslizamento, mesmo com os movimentos dos animais. Dado este dispositivo não carecer de um operador para manter a fita autocolante no local, foi possível realizar medições em todos os animais presentes na câmara simultaneamente. As medições simultâneas das T_{sd} possibilitaram um aumento substancial do número de medições realizadas em cada animal. Os valores das T_{sd} foram obtidos através da fórmula: $T_{sd} = (22 \times 3600) / 2,06t$ [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$], em que t é o período de tempo, em segundos, que demora a ser atingida a coloração rosa.

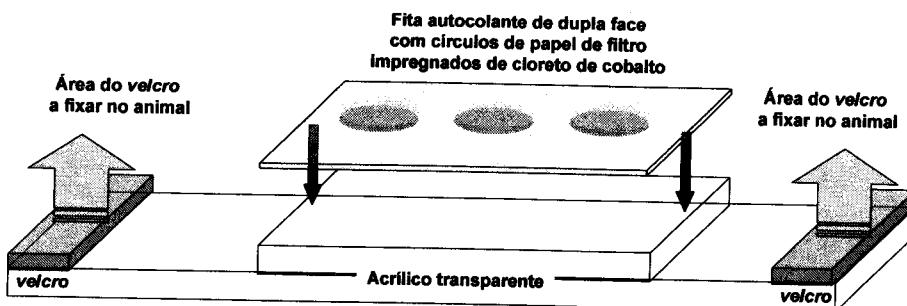


Fig. 4.3. - Esquema do protótipo aplicado nas medições das taxas de sudação

Para medir a proporção de calor metabólico possível de ser dissipado através da sudação foi utilizada uma equação que relaciona a taxa de sudação total produzida na superfície do animal com o peso vivo metabólico: $T_{sdpm} = [(T_{sd} \cdot A_{sup}) / Pv^{0,75}]$ [$\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$]. A taxa de sudação total resulta do produto da T_{sd} com a área superficial do animal, estimada pela fórmula de (Finch, 1986): $A_{sup} = 0,19 \cdot Pv^{0,556}$ [m^2].

4.2.5. Análises Estatísticas

Para as análises estatísticas consideraram-se as seguintes variáveis dependentes: as temperaturas rectal (T_{rect}), da pele (T_{pl}) e da pelagem (T_{pg}) a frequência respiratória (F_{resp}) e a taxa de sudação (T_{sd}). Foram estudadas as respectivas estatísticas descritivas e as causas ou efeitos sistemáticos que sobre elas actuaram, de forma a caracterizar cada variável associada a cada raça. As variáveis dependentes foram analisadas para avaliação da normalidade segundo o teste Cochran e da homogeneidade da variância segundo o teste Bartlett (Underwood, 1998). Todas as variáveis em estudo apresentaram distribuição normal e variância homogénea.

Devido à diversidade das variáveis em estudo e à forma como foram obtidas, estas foram analisadas de acordo com modelos específicos. As variáveis T_{rect} , T_{pl} , T_{pg} e F_{resp} foram estudadas através de análise de variância hierárquica, por modelo geral linear, com três factores fixos: Raça (R), o Nível de temperatura (N) a Hora do dia (H), e um factor “nested”, correspondente ao animal (A) dentro da sua respectiva raça, segundo o modelo matemático-estatístico (Modelo I):

$$Y_{ijklm} = \mu + R_i + R(A)_{i(j)} + N_k + H_l + R.N_{ik} + R.H_{il} + N.H_{kl} + R.N.H_{ikl} + \varepsilon_{ijklm}$$

em que : Y_{ijklm} - valor observado da T_{rect} ou T_{pl} ou T_{pg} ou F_{resp} no animal j -ésimo, da raça i -ésima, no nível k -ésima e na hora l -ésima; μ - Valor médio observado; R_i - Efeito fixo da raça i -ésima; $R(A)_{i(j)}$ - Efeito do animal j -ésimo na raça i -ésima; N_k - Efeito fixo do nível de temperatura k -ésima; H_l - Efeito fixo da hora l -ésima; $R.N_{ik}$ - Interacção dupla da Raça com o Nível; $R.H_{il}$ - Interacção dupla da Raça com a Hora; $N.H_{kl}$ - Interacção dupla do nível com a Hora; $R.N.H_{ikl}$ - Interacção tripla entre Raça, Nível e Hora e ε_{ijklm} - Erro aleatório ou valor residual de cada observação

As variáveis T_{sd} e a $I_{ag}PV^{0,75}$, foram submetidas a análise de variância hierárquica por modelo geral linear, com dois factores fixos: a Raça (R) e o Nível de temperaturas (N) e um factor “nested”, correspondendo ao animal dentro da sua raça, segundo o modelo matemático-estatístico (Modelo II):

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + R(A)_{i(j)} + P_k + R.P_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl} - valor da T_{sd} ou $I_{ag}PV^{0,75}$ observado no animal j -ésimo, da raça i -ésima e na fase k -ésima; μ - Valor médio observado; R_i - Efeito fixo da raça i -ésima; $R(A)_{i(j)}$ - Efeito do animal j -ésimo na raça i -ésima; P_k - Efeito fixo do nível de temperatura k -ésima ; $R.N_{ij}$ - Interacção dupla da Raça com o nível de temperatura e ε_{ijkl} - Erro aleatório ou valor residual de cada observação

Em todas as análises de variância foram considerados como valores significativos aqueles cuja probabilidade de ocorrência foi superior a 95% ($P<0,05$) e a 99%($P<0,01$). Sempre que se verificaram diferenças significativas nas análises de variância, as médias foram comparadas pelo método de Student Newman-Keuls (SNK)(Underwood, 1998).

Devido à concepção do ensaio, que incluiu 3 níveis de temperaturas fixas e um quarto com um ciclo de temperaturas, optou-se por realizar análises de variância distintas para cada um dos dois casos.

As variáveis dependentes foram analisadas através de correlação de Pearson, englobando todos os registo de todas as raças. O mesmo estudo foi realizado para cada raça individualmente. As diferentes variáveis dependentes foram também analisadas através de análises de regressão múltipla stepwise. As variáveis independentes que melhor explicavam as variações nos parâmetros fisiológicos foram escolhidas para a realização de análises de regressão simples. Estas regressões tiveram como base as relações entre a T_{rect} , a F_{resp} e a T_{sd} com a T_{ar} e também entre as F_{resp} e as T_{sd} com as T_{rect} . As equações foram ajustadas para o maior R^2 e o menor erro residual, segundo um modelo polinomial: $Y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + \dots + \nu x^n$ (Underwood, 1998; Zar, 1974).

Os elementos obtidos foram analisados utilizando os programas de estatística SPSS11.5 e NCSS 2000.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Condições Experimentais

Ao longo dos doze dias do período experimental não foi observado qualquer comportamento que pudesse indicar uma situação de stresse de manuseamento. Os animais estiveram tranquilos e quase indiferentes às operações efectuadas para a obtenção das T_{rect} , T_{pl} , T_{pg} e T_{sd} .

As temperaturas registadas nas câmaras ao longo de todo período experimental permaneceram

estáveis, dentro dos intervalos de variação definidos para cada raça. Durante o nível 4, em que foi estabelecido um ciclo de temperaturas, verificou-se uma baixa inércia térmica das câmaras: as alterações das temperaturas e humidades ocorreram rapidamente, estabilizando em menos de 1 hora. Durante a fase de maior temperatura do Nível 4, 2 animais da raça Frísia e um da raça Limousine, exibiram durante um curto período de tempo (menos de 30 min) polipneia com boca aberta e intensa sialorreia. Nas restantes raças, apesar da observação de reacções exuberantes de stresse térmico, em nenhuma ocasião foi observada polipneia com a boca aberta.

4.3.2. Temperaturas da pele, da pelagem e rectal

As T_{pg} e as T_{pl} são variáveis que podem fornecer informações relevantes acerca da forma como estão a ser estimulados os termossensores periféricos de calor, os quais desempenham uma acção importante na progressão da taxa de sudação e da frequência respiratória. As T_{pg} e as T_{pl} são consideradas nesta experiência variáveis acessórias (serão objecto de estudo mais detalhado em experiência sequente) que possibilitam um acréscimo de informação susceptível de coadjuvar as informações acerca da F_{resp} e da T_{sd} . A temperatura rectal assume uma importância nuclear na comparação do funcionamento das vias de termólise latente entre as raças, uma vez que reflecte num dado momento a eficiência conjunta desses mecanismos. Possibilita-se assim uma comparação sincrónica e uniformizada para armazenamentos de calor semelhantes.

As temperaturas médias da pele (T_{pl}) e da pelagem (T_{pg}) registadas nas raças e nos níveis de temperatura são apresentadas nas Fig. 4.4 e 4.5.. As T_{pg} , T_{pl} e T_{rect} de cada raça em cada nível de temperatura são apresentadas na Tabela 4.1..

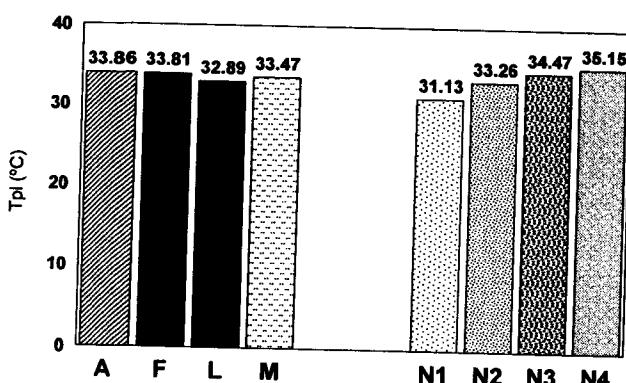


Fig. 4.4. - Temperaturas médias da pelagem

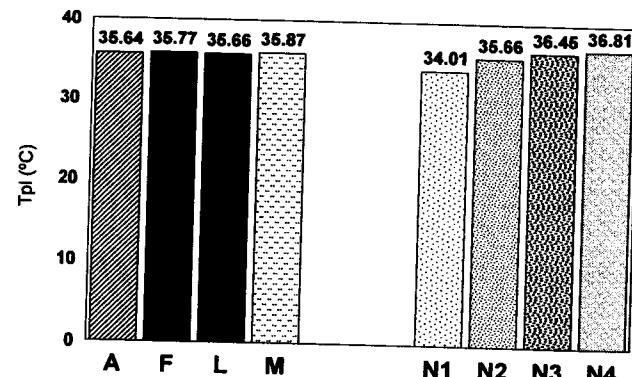


Fig. 4.5. - Temperaturas médias da pele

Devido aos ciclos de temperatura no nível 4 (N4) terem sido diferentes entre as raças nativas e as exóticas, as comparações directas devem ser realizadas entre os pares formados pelas raças Alentejana e Mertolenga e pelas raças Frísia e Limousine. Quaisquer outras referências comparativas cruzadas devem ter em consideração esta circunstância.

A pelagem é a primeira estrutura a ser influenciada pelas alterações do ambiente térmico circunvizinho. Os resultados comprovaram que a temperatura ambiente interferiu significativamente na T_{pg} , com diferenças significativas entre as raças e entre os diferentes níveis de temperatura. No N1, em termoneutralidade, as raças Alentejana e Frísia apresentaram T_{pg} inferiores às restantes. No entanto, nos

níveis sequentes, foi a raça Limousine que apresentou a menor T_{pg} , embora sem diferenças realtivamente às demais.

As variações médias das T_{pg} ao longo do dia nos vários níveis de temperatura são apresentados nas Fig. 4.6..

Em N2 e N3, a variação das T_{pg} ao longo do dia não demonstrou qualquer tendência consistente. Somente no nível 4 se constatou um padrão definido e comum a todas as raças. Devido ao ciclo de temperaturas imposto, foi observado em todas as raças um aumento progressivo da T_{pg} , atingindo o máximo às 15:00h. Contudo, são constatadas algumas diferenças nas amplitudes dos valores registados, com a raça Mertolenga a apresentar os menores valores máximos.

Tabela 4.1. - Temperaturas da pelagem, da pele e rectal ($\bar{X} \pm Ep$)

Variáveis Raça-nível	T_{pg} (°C)	T_{pl} (°C)	T_{rect} (°C)
A - 1	31,30±0,16 ^a	33,46±0,11 ^a	38,69±0,05 ^a
F - 1	31,08±0,16 ^{ab}	33,63±0,11 ^a	38,71±0,05 ^a
L - 1	30,63±0,20 ^b	34,18±0,11 ^b	38,54±0,06 ^a
M - 1	31,50±0,16 ^a	34,78±0,11 ^c	38,63±0,05 ^a
A - 2	33,70±0,06 ^a	35,59±0,05 ^a	38,67±0,02 ^a
F - 2	33,54±0,06 ^{ab}	35,71±0,05 ^{ab}	38,74±0,02 ^b
L - 2	32,53±0,08 ^b	35,52±0,06 ^a	38,52±0,02 ^c
M - 2	33,29±0,06 ^c	35,84±0,05 ^b	38,58±0,02 ^c
A - 3	34,81±0,06 ^a	36,53±0,05 ^a	38,83±0,02 ^a
F - 3	34,87±0,06 ^a	36,74±0,05 ^b	38,97±0,02 ^a
L - 3	33,88±0,08 ^b	36,20±0,06 ^c	38,62±0,02 ^b
M - 3	34,33±0,06 ^c	36,33±0,05 ^c	38,60±0,02 ^b
A - 4	35,63±0,07 ^a	36,96±0,05 ^a	39,01±0,02 ^a
F - 4	35,72±0,07 ^a	36,98±0,05 ^a	39,36±0,02 ^b
L - 4	34,51±0,08 ^b	36,72±0,06 ^b	38,99±0,03 ^a
M - 4	34,75±0,07 ^c	36,55±0,05 ^c	38,77±0,02 ^c

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) nos valores médios globais entre as raças/níveis (pelo método SNK)

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as raças dentro de cada nível (pelo método SNK).

Quando os animais estão presentes em câmara climática, em condições de temperatura ambiente estabilizada, a T_{pl} resulta essencialmente da interacção entre o nível da vasodilatação periférica, as características da pelagem e a intensidade da sudação.

A medição da T_{pl} apresenta alguma dificuldade metodológica devido à interferência que normalmente ocorre na relação existente entre a pele e a pelagem. Na verdade, a pelagem providencia a protecção da pele face aos elementos exteriores, diminuindo as influências directas da radiação solar e da convecção. O acesso à pele para medição da sua temperatura necessita por isso de ser efectuado com instrumentação adequada de forma a manter, tanto quanto possível, intactas as características da interface pelagem/pele (Whittow, 1962).

De acordo com as análises de variância realizadas para a T_{pl} verificou-se interacção significativa entre os factores, mas apenas diferenças significativas para factor Nível de temperatura. Esta situação

está de acordo com numerosos estudos onde são referidos que os aumentos da temperatura ambiente promove a aproximação dos valores da T_{pl} e da T_{rect} (Allen, 1962; Ingram *et al.*, 1963).

McLean (1963b) observou que, em bovinos sujeitos a temperatura de 15°C, o gradiente térmico entre a T_{rect} e a T_{pl} dos membros era de 9°C, enquanto que a 40°C esse valor se reduzia a 0,9°C.

A interacção significativa constatada entre os factores Raça e Nível parece indicar que, perante os níveis de temperaturas, as T_{pl} das raças apresentam tendências diferentes. Esta situação tende a ocorrer quando os genótipos apresentam diferenças apreciáveis nas características da pelagem e/ou na dinâmica da sudação (Allen *et al.*, 1970; Finch, 1986).

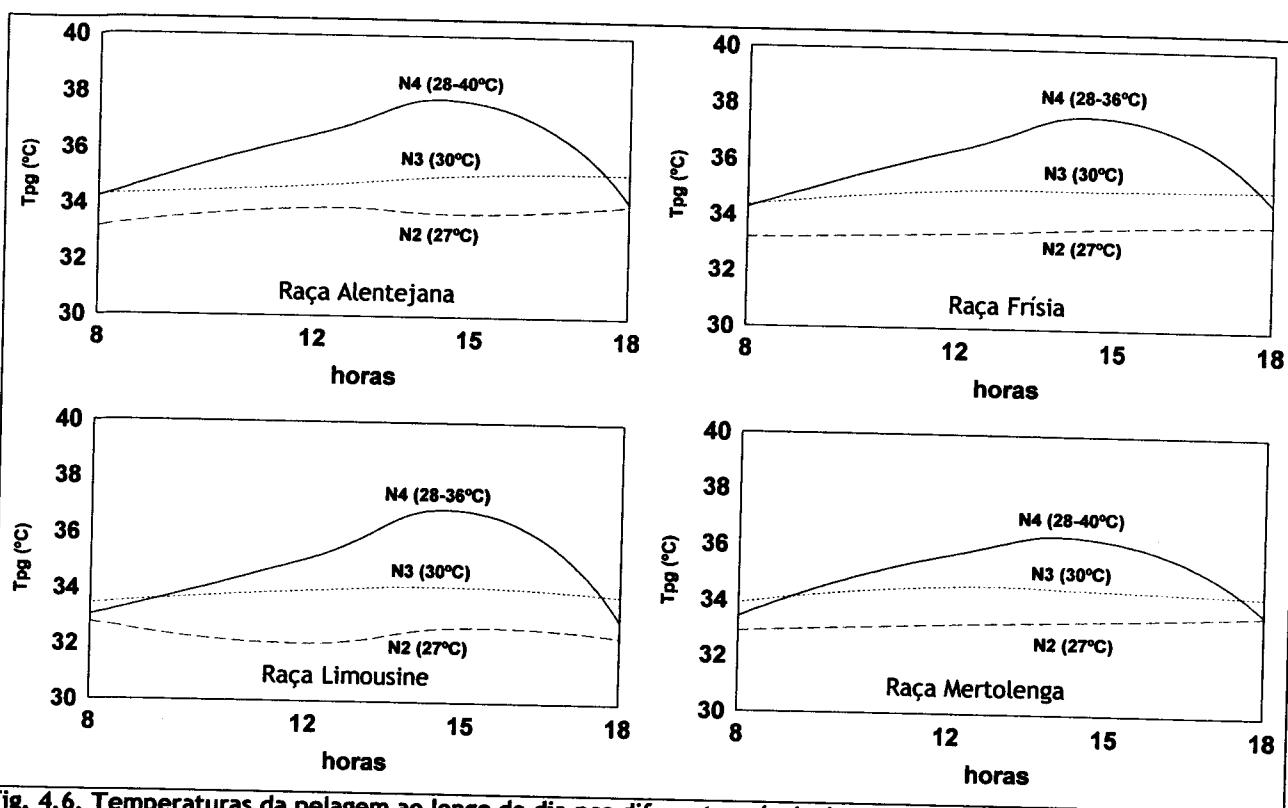


Fig. 4.6. Temperaturas da pelagem ao longo do dia nos diferentes níveis de temperatura

A interferência simultânea de vários factores na variação da T_{pl} pode inviabilizar uma explicação simples e directa acerca da sua variação. A vasodilatação periférica, decorrente do aumento da temperatura do ar, tende a originar um aumento da T_{pl} , que se processa de forma gradual até ser atingida a máxima vasodilatação periférica, que também determina a máxima condutividade tissular. No caso de condições de baixa intensidade de radiação e, principalmente, dentro da zona de termoneutralidade, é possível relacionar o aumento da T_{pl} com as variações da vasomotricidade.

É referido que o aumento da T_{pl} pode dar origem a um aumento do gradiente da pressão de vapor e consequentemente a um incremento gradual da perspiração insensível que tende a contrabalançar parcialmente o aumento da T_{pl} (Ingram *et al.*, 1963). No entanto, é o início da sudação que pode desencadear uma diminuição mais ou menos acentuada da temperatura da superfície da pele.

Os maiores incrementos da T_{pl} na raça Mertolenga (desde N1 a N3) sugerem uma maior extensão da vasodilatação periférica, favorecendo a dissipação de calor sensível. As variações médias das T_{pl} verificadas ao longo do dia nas várias raças e nos vários níveis de temperaturas podem ser visualizadas na Fig. 4.7.

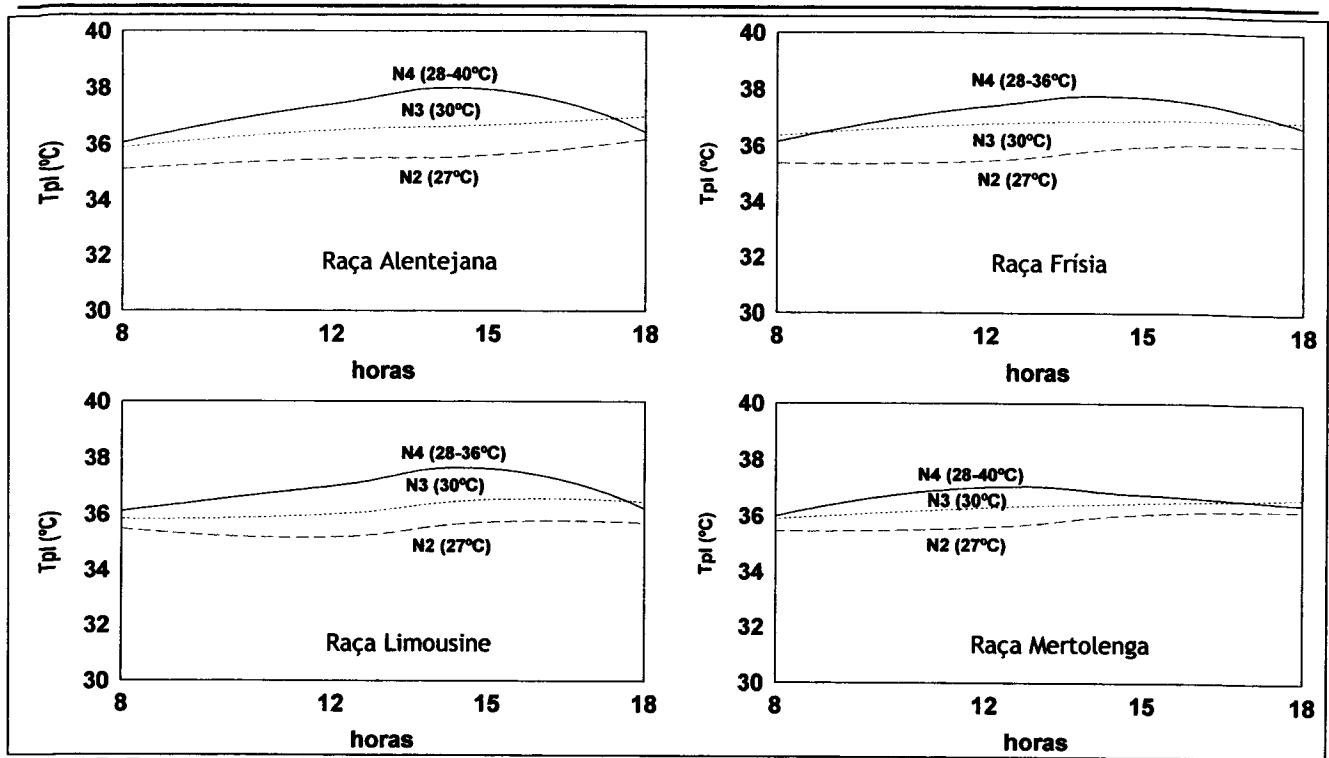


Fig. 4.7. Temperaturas da pele ao longo do dia nos diferentes níveis de temperatura

Exceptuando em N4, a T_{pl} apresentou uma tendência crescente ao longo do dia. Este aumento deriva indirectamente do aumento do calor metabólico resultante da ingestão do alimento. Em condições de termoneutralidade ou em condições de stresse térmico moderado, o calor metabólico implica necessariamente um aumento da sua velocidade de dissipação através da vasodilatação periférica. A necessidade de manter um maior fluxo de sangue à periferia e durante mais tempo é tanto maior quanto maior o calor metabólico produzido, ou seja, tanto maior quanto maior for a tendência para o armazenamento de calor (Morrison e Lofgreen, 1979; Turner *et al.*, 1984).

Quando se analisa cada raça, somente no N4 se verificaram diferenças nas T_{pl} ao longo do dia. Devido ao ciclo de temperaturas imposto, todas as raças exibiram valores significativamente superiores entre as 12:00h e às 15:00h, distorcendo a tendência exibida nos níveis anteriores.

As amplitudes das T_{pl} foram bastante menores que as da T_{pg} . Apesar disso, as amplitudes médias das T_{pl} verificadas ao longo do dia diferem entre as raças, sendo inferiores na raça Mertolenga. A partir de determinada temperatura do ar a estabilização da T_{pl} pode indicar a máxima vasodilatação periférica e/ou um maior volume de suor evaporado por unidade de tempo. Com efeito, a vasodilatação periférica e o eventual armazenamento de calor, que seriam os primeiros responsáveis pelo aumento da T_{pl} , predispõem também para o aumento da taxa sudação, que contraria a tendência inicial para o aumento da T_{pl} (Taneja, 1959a). Este arrefecimento está dependente da quantidade de suor produzido, da respectiva velocidade de evaporação e das características das pelagens que são susceptíveis de proporcionar diferentes locais e velocidades de evaporação (Taneja, 1959b; Allen *et al.*, 1970; Gatenby, 1986;). Todavia, a interferência de uma pelagem suficientemente espessa pode originar uma diminuição da velocidade de evaporação, quer pelo aprisionamento das gotículas no seu interior, quer pela diminuição da influência de fenómenos convectivos, o que conduz a valores superiores de T_{pl} (Rajaratne *et al.*, 1983). Também a influência da radiação solar na superfície da pele está dependente das características da

pelagem (McArthur, 1981; Silva *et al.*, 1988), situação a abordar no capítulo seguinte.

Allen *et al.* (1970) demonstraram em bovinos de raças tropicais e de outras raças aclimatizadas aos trópicos (possuindo pelagens pouco espessas) que a evaporação do suor ocorria na superfície da pele e que a pelagem apenas influenciava ligeiramente o arrefecimento cutâneo. No entanto, a gordura subcutânea pode aumentar o grau de complexidade destas relações. Maior espessura de gordura tende a retardar a velocidade de dissipaçao de calor devido ao aumento do isolamento tissular, o que faz com que a T_{pl} seja mais independente das alterações da vasomotricidade, originando por vezes T_{pl} mais baixas (McArthur, 1981; Robertshaw, 1985). Este fenómeno poderá explicar a T_{pl} mais baixa observada na raça Limousine, já que a mesma apresentava níveis de gordura subcutânea superiores.

A temperatura rectal é a variável dependente mais fiável para identificar a eficácia das vias termolíticas durante os períodos de stresse térmico. A intensidade com que funcionam as vias de termólise evaporativa é um indicador do grau de incômodo do animal face ao stresse térmico, mas não repercute necessariamente a eficácia do seu funcionamento.

As T_{rect} observadas ao longo do dia nos vários níveis são apresentadas na tabela 4.2..

Tabela 4.2.Temperatura rectal ao longo do dia nos diferentes níveis de temperaturas ($\bar{X} \pm Ep$)

Fases	Horas	8:00hm	12:00h	15:00h	18:00h
	Raças				
Nível 1 (16°C)	Alentejana	38,40 ± 0,05	38,59 ± 0,05	38,72 ± 0,05	38,80 ± 0,05
	Frísia	38,45 ± 0,05	38,70 ± 0,05	38,77 ± 0,05	38,79 ± 0,05
	Limousine	38,36 ± 0,08	38,50 ± 0,06	38,48 ± 0,06	38,56 ± 0,06
	Mertolenga	38,49 ± 0,05	38,50 ± 0,05	38,54 ± 0,05	38,70 ± 0,05
Nível 2 (27°C)	Alentejana	38,54 ± 0,06	38,50 ± 0,09	38,76 ± 0,06	38,90 ± 0,06
	Frísia	38,69 ± 0,06	38,68 ± 0,09	38,73 ± 0,06	38,88 ± 0,06
	Limousine	38,45 ± 0,08	38,54 ± 0,08	38,46 ± 0,08	38,64 ± 0,08
	Mertolenga	38,43 ± 0,06	38,48 ± 0,06	38,57 ± 0,06	38,83 ± 0,06
Nível 3 (30°C)	Alentejana	38,69 ± 0,06 ^a	38,71 ± 0,06 ^a	38,83 ± 0,06 ^{ab}	39,10 ± 0,06 ^b
	Frísia	38,82 ± 0,06 ^a	38,86 ± 0,06 ^a	38,99 ± 0,06 ^{ab}	39,22 ± 0,06 ^b
	Limousine	38,42 ± 0,08 ^a	38,50 ± 0,08 ^{ab}	38,73 ± 0,08 ^{ab}	38,83 ± 0,08 ^b
	Mertolenga	38,50 ± 0,06	38,50 ± 0,06	38,63 ± 0,06	38,79 ± 0,06
Nível 4 (28-36 - F,L) (28-40 - A,M)	Alentejana	38,69 ± 0,06 ^a	38,94 ± 0,06 ^{abA}	39,37 ± 0,06 ^{cAB}	39,04 ± 0,06 ^b
	Frísia	38,70 ± 0,06 ^a	39,36 ± 0,06 ^{bB}	40,00 ± 0,06 ^{cc}	39,34 ± 0,06 ^b
	Limousine	38,63 ± 0,08 ^a	38,87 ± 0,08 ^{baA}	39,42 ± 0,08 ^{cB}	39,04 ± 0,08 ^b
	Mertolenga	38,46 ± 0,06 ^a	38,62 ± 0,06 ^{aa}	39,12 ± 0,06 ^{baA}	38,86 ± 0,06 ^{ab}

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) pelo método SNK entre as horas dentro de cada raça.

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) pelo método SNK entre pares de raças nas fases e dentro das horas.

No caso do nível 4, devido à amplitude dos ciclos de temperatura serem diferentes, as comparações devem apenas ser efectuadas entre os pares de raças A com M e F com L.

Ambos os factores de variação influenciaram significativamente a T_{rect} . No N1 (16°C) não se verificaram diferenças entre as raças. A partir de N2 (27°C) começou a manifestar-se uma tendência para T_{rect} superiores na raça Frísia e inferiores na raça Mertolenga. Com o incremento da Tar, esta tendência tornou-se mais acentuada. No N1 as T_{rect} de todas as raças apresentaram amplitudes reduzidas. Nos N2 e

N3 (30°C) foram observados maiores incrementos das T_{rect} , com a raça Frísia a exibir os maiores acréscimos. Em N3, foi mais perceptível um padrão crescente nas T_{rect} ao longo do dia, que apresentaram um valores máximos e significativamente diferentes às 18:00h. A raça Mertolenga, apesar de manifestar uma tendência semelhante às restantes raças, não apresentou diferenças significativas entre as T_{rect} ao longo do dia.

Esta progressão da T_{rect} ao longo do dia é referida em circunstâncias de estresse térmico mais moderado, ou em situações de ausência de radiação solar. Na verdade, este aumento pode resultar em parte da interacção que se estabelece entre o calor metabólico e a reduzida velocidade de dissipação de calor sensível devido ao reduzido gradiente térmico (Ludri, 1985). Em alguns casos os animais parecem não incrementar em demasia as vias de termólise latente, valorizando bastante o gradiente térmico nocturno para dissipação do calor armazenado durante o dia (Hahn, 1999).

No N4, o ciclo de temperaturas imposto originou uma alteração do padrão diário, fazendo com que todas as raças tivessem exibido a máxima T_{rect} às 15:00h. As menores T_{rect} às 18:00h foram consequência da diminuição da Tar das câmaras às 16h30m.

A análise da dinâmica das T_{rect} confirmou os resultados obtidos na experiência anterior, com a raça Mertolenga a demonstrar maior estabilidade da T_{rect} . Em todas as condições térmicas da experiência, a raça Mertolenga evidenciou sempre amplitudes térmicas diárias inferiores às restantes.

Schmidt-Nielsen (1995) refere que em animais com maior superfície específica (área superficial/massa corporal), a baixa inércia térmica pode originar, no curto prazo, armazenamentos de calor transitórios, que derivam em grande parte de um desfasamento temporal entre o ritmo de aquisição de calor e a adequada intensidade de funcionamento das vias termolíticas, o que origina que as maiores amplitudes térmicas sejam normalmente inversamente proporcionais à massa corporal (Berbigier, 1988; Louw, 1993).

Na raça Mertolenga, a coexistência de menor massa corporal e de aumentos pouco significativos da T_{rect} , sugerem mecanismos termolíticos antecipadores bastante eficientes. Situação contrária voltou a ocorrer com a raça Frísia, que manifestou alguma dificuldade em manter estável a T_{rect} . Nas raças Alentejana e Limousine as T_{rect} apresentaram variações intermédias. A raça Limousine apenas no N4 apresentou acréscimos da T_{rect} expressivos.

Apesar das diferenças nas T_{rect} médias das várias raças nos vários níveis de temperaturas, importa relacionar a evolução da T_{rect} de cada raça relativamente às variações da Tar (Fig. 4.8.) e as relações entre as T_{rect} e o índice temperatura humidade (THI) estão representadas na Fig. 4.9..

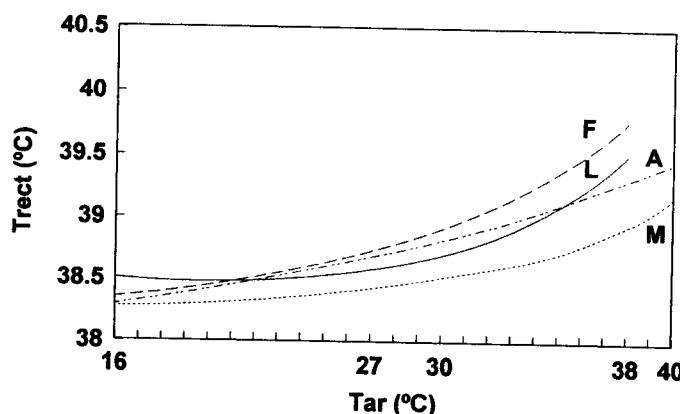
Deve ter-se em consideração que os limites da Tar máxima diferem entre as raças nativas e exóticas.

O aumento da T_{rect} na raça Frísia ocorre precocemente, denotando uma maior dificuldade de manter a T_{rect} estável mesmo a temperaturas do ar relativamente baixas. Estes resultados estão de acordo com diversos estudos que salientam que as alterações da T_{rect} na raça Frísia começam a ocorrer a partir de 21-26°C (Kibler *et al.*, 1949) ou de 28°C (Muller e Botha, 1993). A raça Limousine apresentou uma tendência algo semelhante embora os acréscimos sejam menos acentuados e tenham ocorrido a temperaturas superiores.

Estas tendências concordam com os resultados obtidos por Berbigier *et al.* (1987) em clima tropical. As raças nativas apresentaram uma maior estabilidade da T_{rect} , principalmente em condições de

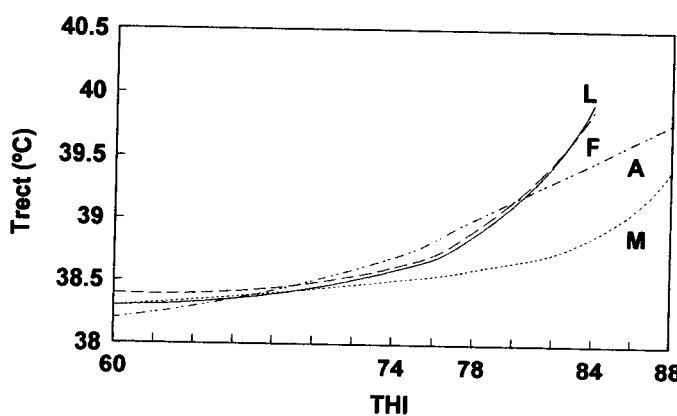
temperaturas mais elevadas. A raça Mertolenga distinguiu-se das restantes por ter mantido a T_{rect} dentro dos níveis considerados normais mesmo a Tar superior a 30°C.

Apenas na raça Alentejana a relação da T_{rect} passou de quadrática relativamente à Tar para uma relação linear relativamente ao THI. As relações com o THI parecem evidenciar as diferenças entre as raças, principalmente entre as exóticas e a Mertolenga. As raças exóticas começam a exibir incrementos relevantes da T_{rect} logo a THI superiores a 76.



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{rect} = 38,1951 - 0,0108.Tar + 0,0010.Tar^2$	0,85	$P < 0,01$
Frísia	$T_{rect} = 39,1585 - 0,0988.Tar + 0,003.Tar^2$	0,89	$P < 0,01$
Limousine	$T_{rect} = 40,1924 - 0,169.Tar + 0,0039.Tar^2$	0,89	$P < 0,01$
Mertolenga	$T_{rect} = 34,9226 + 0,4100.Tar - 0,0161.Tar^2 + 0,0021.Tar^3$	0,76	$P < 0,01$

Fig. 4.8. Relação entre a temperatura do ar e a temperatura rectal



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{rect} = 39,9413 - 0,0777.THI$	0,81	$P < 0,01$
Frísia	$T_{rect} = 83,0104 - 1,2396.THI + 0,0086.THI^2$	0,89	$P < 0,01$
Limousine	$T_{rect} = 94,5312 - 1,5403.THI + 0,0105.THI^2$	0,86	$P < 0,01$
Mertolenga	$T_{rect} = -194,8587 + 9,0348.THI - 0,1167.THI^2 + 0,0005.THI^3$	0,81	$P < 0,01$

Fig. 4.9. Relação entre o Índice temperatura humidade e a temperatura rectal

De acordo com Hahn (1996), um THI entre 71 e 78 requer já um esforço intenso para a manutenção da homeotermia, sendo um THI superior a 79 considerado perigoso. Importa salientar que a raça Mertolenga apenas com THI superior a 84 (considerada situação de emergência) incrementou significativamente a sua T_{rect} . Embora os períodos de tempo com os THI superiores tivessem sido relativamente curtos, as diferenças entre as raças foram suficientemente expressivas para indicar eficácia diferentes das vias de termólise.

4.3.3. Ingestão de água

Durante os períodos de stresse térmico o recurso obrigatório às vias de termólise evaporativa determina uma utilização adicional de água. As ingestões médias de água por peso metabólico ($I_{ag}Pv^{0,75}$) estão resumidas na Fig. 4.10..

Os animais das várias raças apresentaram valores de $I_{ag}Pv^{0,75}$ semelhantes, exceptuando os da raça Frisia que apresentaram valores significativamente superiores, confirmando os resultados obtidos na experiência anterior. A $I_{ag}Pv^{0,75}$ média global foi aumentando com o aumento da Tar, indicando uma crescente necessidade de água para a termorregulação. Contudo, os acréscimos verificados entre o N2 e N4 não foram suficientemente grandes para expressarem diferenças significativas.

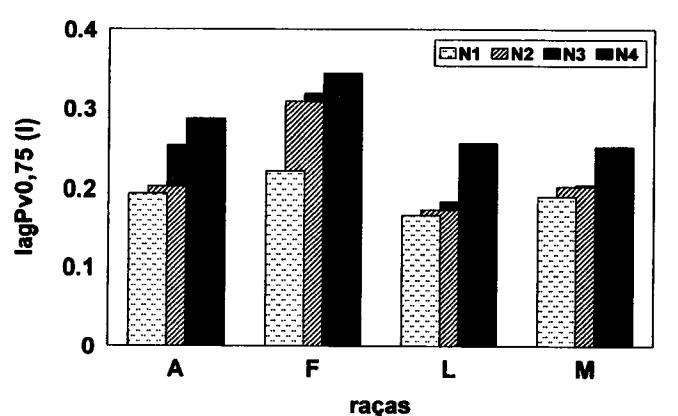


Fig. 4.10. Ingestões de água em cada nível de temperaturas

A raça Frisia começou a aumentar a $I_{ag}Pv^{0,75}$ a Tar mais baixas, manifestando a mesma tendência observada na experiência anterior, embora os valores médios registados sejam algo inferiores aos verificados. A raça Alentejana apresentou acréscimos significativos de $I_{ag}Pv^{0,75}$ a partir do N3, fazendo supor que somente a 30°C foi exigido uma maior intensidade no funcionamento das vias de termólise evaporativa.

As raças Limousine e Mertolenga apresentaram as menores $I_{ag}Pv^{0,75}$, com aumentos relevantes apenas no N4, algo similar ao ocorrido na experiência anterior. Tendo em consideração as diferentes evoluções das T_{rect} nestas raças, as menores ingestões de água podem eventualmente estar associadas a uma maior incapacidade de perder água por via sudativa (na raça Limousine) e a mecanismos mais eficientes de economia hídrica (na raça Mertolenga)(Silanikove, 1992; Blackshaw e Blachshaw, 1994).

4.3.4. Vias de termólise latente - frequência respiratória e taxa de sudação

Em condições de stresse térmico, o aumento da frequência respiratória ocorre simultaneamente com o aumento da taxa de sudação. São ambos indicadores de stresse térmico, permitindo evidenciar de forma inequívoca o esforço suplementar para dissipar calor por via evaporativa. Os valores médios da F_{resp} e da T_{sd} são apresentados na tabela 4.3..

Durante o N1, em condições de termoneutralidade, as raças demonstraram uma elevada homogeneidade nas F_{resp} , com valores considerados normais (Singh e Bhattacharya, 1991; Hahn *et al.*, 1997). Com o aumento da Tar verificaram-se aumentos generalizados da F_{resp} . No N2 os aumentos da F_{resp} foram semelhantes em todas as raças, enquanto que no N3 as diferenças entre as raças foram mais evidentes, apresentando as raças Mertolenga e Frísia os maiores acréscimos. No N4 mantiveram-se as tendências de N3, embora as diferenças entre as raças Mertolenga e Frísia se tenham acentuado relativamente à raça Alentejana e sobretudo à raça Limousine. Acréscimos semelhantes aos verificados nas raças Frísia e Mertolenga são referidos por Hahn *et al.* (1997) e Eigenberg *et al.* (2000) para bovinos *Bos taurus*, enquanto que Johnston *et al.* (1963) e Ludri (1985) constataram valores mais baixos em animais zebuíños.

Nas raças Mertolenga e Frísia constatou-se uma utilização significativa da F_{resp} , embora na raça Mertolenga se tenha verificado uma elevada estabilidade da T_{rect} enquanto que na Frísia se registaram claros incrementos da T_{rect} . A F_{resp} pode ter contribuído de forma distinta na termólise total e na estabilidade da temperatura corporal, o que só pode ser comprovado por uma avaliação conjunta dos processos de termólise evaporativa.

Tabela 4.3. Frequências respiratórias e taxas de sudação ($\bar{X} \pm Ep$)

Variáveis Raça-Nível	F_{resp} (mov.min ⁻¹)	T_{sd} (g.m ⁻² .h ⁻¹)	T_{spm} (g.h ⁻¹ .Pv ^{-0,75})
A - 1	24,6±0,1 ^a	54,25±6,57 ^a	2,15±0,27 ^a
F - 1	28,3±0,1 ^a	45,60±6,57 ^a	1,80±0,27 ^a
L - 1	29,5±0,2 ^a	51,70±8,05 ^a	2,04±0,32 ^a
M - 1	29,6±0,1 ^a	52,65±6,57 ^a	2,24±0,27 ^a
A - 2	47,7±0,1 ^a	96,08±5,36 ^a	3,81±0,22 ^a
F - 2	52,0±0,1 ^a	81,23±5,36 ^{ab}	3,29±0,22 ^{ab}
L - 2	45,6±0,2 ^a	69,59±6,57 ^b	2,74±0,27 ^b
M - 2	44,8±0,1 ^a	57,50±5,52 ^{ab}	2,46±0,22 ^b
A - 3	65,7±0,1 ^a	111,20±5,36 ^a	4,41±0,22 ^a
F - 3	70,2±0,1 ^{ab}	95,92±5,36 ^{ab}	3,88±0,22 ^{ab}
L - 3	65,3±0,2 ^a	80,79±6,57 ^b	3,17±0,27 ^b
M - 3	80,4±0,1 ^b	76,00±5,52 ^b	3,25±0,22 ^b
A - 4	112,2±0,1 ^a	156,48±5,36 ^a	6,20±0,22 ^a
F - 4	125,7±0,1 ^b	117,72±5,36 ^b	4,76±0,22 ^b
L - 4	101,2±0,2 ^c	95,14±5,69 ^b	3,73±0,23 ^c
M - 4	122,5±0,1 ^{ab}	110,12±4,64 ^b	4,70±0,19 ^b

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as raças dentro de cada nível (pelo método SNK).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) nos valores médios globais entre raças/níveis(pelo método SNK).

No caso do nível 4, devido à amplitude dos ciclos de temperatura serem diferentes, as comparações devem apenas ser efectuadas entre os pares de raças A com M e F com L

As F_{resp} observadas ao longo do dia nos diversos níveis de temperatura são apresentadas na tabela 4.4.. Em N1 e N2 as variações da F_{resp} registadas ao longo do dia não foram significativas. Em N3, apesar

da temperatura das câmaras se ter mantido constante, foi notória a tendência para os valores máximos ocorrerem às 15:00h. Morais (1985) refere que, em períodos de stresse térmico, as F_{resp} de diferentes genótipos são mais aproximadas no início da manhã, salientando o papel do período nocturno na recuperação da homeotermia. As diferenças entre as F_{resp} vão-se acentuando ao longo do dia, dependendo a sua magnitude da severidade do stresse térmico, da tendência verificada para armazenamentos de calor e da preponderância da F_{resp} na manutenção da homeotermia (Ludri, 1985). Interessante referir que as máximas F_{resp} foram atingidas às 15:00h, contrastando com os máximos da T_{rect} que foram registadas às 18:00h, sugerindo eventualmente uma maior relevância relativa da taxa de sudação.

No nível 4, deve ser tido em conta que o ciclo de temperaturas imposto foi diferente entre as raças nativas e exóticas. Devido à temperatura mais elevada e ao ciclo imposto, as amplitudes diárias foram superiores. Todas as raças evidenciaram um aumento significativo da F_{resp} entre as 8:00h e as 15:00h, apresentando as raça Mertolenga e Frísia os maiores valores e a raça Limousine os menores. Após a diminuição da temperatura das câmaras (às 16:30h) verificou-se uma redução generalizada e acentuada da F_{resp} . Importa salientar que as raças Alentejana e Limousine apresentaram às 18:00h F_{resp} semelhantes entre si e às observadas em igual hora no N3. Por outro lado, as raças Mertolenga e Frísia mantiveram F_{resp} elevadas e superiores às raças Alentejana e Limousine.

Tabela 4.4. Frequências respiratórias ao longo do dia ($\bar{X} \pm Ep$)

Fases	Horas Raças	8:00h	12:00h	15:00h	18:00h
		Alentejana	Frísia	Limousine	Mertolenga
Nível 1 (16°C)	Alentejana	24,6 ± 2,1	25,8 ± 2,1	23,8 ± 2,1	25,0 ± 2,1
	Frísia	29,4 ± 2,1	28,8 ± 2,1	31,3 ± 2,1	27,9 ± 2,1
	Limousine	29,6 ± 1,7	30,0 ± 1,7	28,6 ± 1,7	29,0 ± 1,7
	Mertolenga	28,9 ± 2,1	29,2 ± 2,1	28,9 ± 2,1	29,4 ± 2,1
Nível 2 (27°C)	Alentejana	46,6 ± 2,6	42,6 ± 3,7	50,3 ± 2,6	45,0 ± 2,6
	Frísia	47,3 ± 2,6	48,0 ± 3,7	54,0 ± 2,6	51,6 ± 2,6
	Limousine	51,0 ± 3,2	41,5 ± 3,2	50,0 ± 3,2	43,5 ± 3,2
	Mertolenga	38,0 ± 2,6	43,3 ± 2,6	46,6 ± 2,6	46,6 ± 2,6
Nível 3 (30°C)	Alentejana	59,0 ± 2,6 ^a	55,6 ± 2,6 ^a	73,6 ± 2,6 ^{bAB}	64,3 ± 2,6 ^{abAB}
	Frísia	68,8 ± 2,6	69,0 ± 2,6	75,6 ± 2,6 ^{AB}	77,6 ± 2,6 ^B
	Limousine	69,0 ± 3,2	66,5 ± 3,2	66,0 ± 3,2 ^A	62,5 ± 3,2 ^A
	Mertolenga	62,0 ± 2,6 ^a	77,6 ± 2,6 ^{bc}	84,3 ± 2,6 ^{cB}	69,3 ± 2,6 ^{abAB}
Nível 4 (28-36 - F,L) (28-40 - A,M)	Alentejana	64,4 ± 2,6 ^a	90,6 ± 2,6 ^{BB}	126,6 ± 2,6 ^{cB}	60,3 ± 2,6 ^{abB}
	Frísia	71,0 ± 2,6 ^a	115,0 ± 2,6 ^{BA}	136,6 ± 2,6 ^{cA}	81,3 ± 2,6 ^{aA}
	Limousine	61,5 ± 3,2 ^a	84,0 ± 3,2 ^{BB}	118,5 ± 3,2 ^{CC}	62,5 ± 3,2 ^{abB}
	Mertolenga	66,3 ± 2,6 ^a	103,3 ± 2,6 ^{bc}	141,6 ± 2,6 ^{cA}	85,3 ± 2,6 ^{da}

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método SNK).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças nas fases e dentro das horas (pelo método SNK).

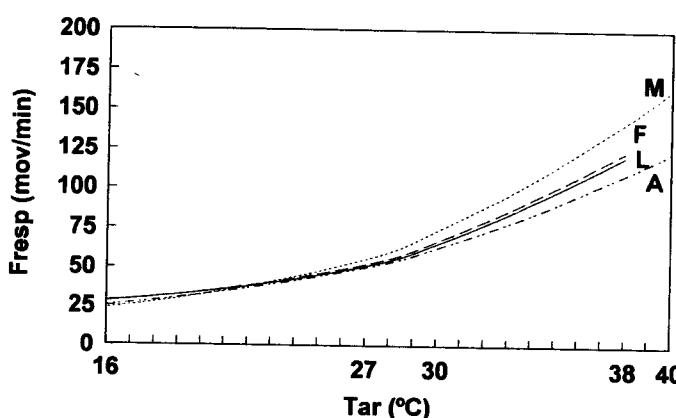
No caso do nível 4, devido à amplitude dos ciclos de temperatura serem diferentes, as comparações devem apenas ser efectuadas entre os pares de raças A com M e F com L.

Durante a fase aguda do stresse térmico a F_{resp} tende a permanecer mais elevada durante a noite relativamente aquela que ocorre em condições de stresse térmico crónico. Os variáveis armazenamentos

de calor gerados ao longo do dia prolongam-se frequentemente até ao período nocturno, tornando-se necessário manter níveis elevados de termólise latente durante boa parte do período nocturno. Esta situação é normalmente transitória. Com o decorrer da aclimação, após 3-4 dias, tende a verificar-se uma tendência para a diminuição dos valores de F_{resp} durante a noite, em boa parte também devido aos menores armazenamentos de calor registados durante o dia (Bligh e Lampkim, 1965; Hahn, 1989; Lefcourt e Adams, 1996). Na verdade, a permanência dos animais em condições de estresse térmico promove a médio prazo uma tendência para o aumento da temperatura que desencadeia a polipneia térmica, consequência da diminuição da produção de calor metabólico e na maior velocidade de dissipação de calor (Berbigier, 1988).

O que parece ocorrer aquando da transição para uma condição de menor desconforto térmico é que tende a verificar-se uma menor estimulação dos termossensores periféricos localizados na pele. Esta alteração da proporcionalidade entre sensores internos e periféricos parece favorecer a tendência para a diminuição da termólise pulmonar, e consequentemente um crescente protagonismo da termólise cutânea (Bennett *et al.*, 1985). Paralelamente, podem ocorrer diferenças no *set point* hipotalâmico das várias raças que vão desencadear respostas termolíticas com intensidades diferentes e a tempos distintos. Estas alterações decorrentes do processo de aclimatação, originam por isso um aumento da temperatura crítica superior (Louw, 1993; Hahn *et al.*, 1997; Bligh, 1998).

As relações entre a Tar e a F_{resp} e entre o THI e a F_{resp} são representadas na figura 4.10. e 4.11..



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$F_{resp} = 49,4752 - 3,7595.Tar + 0,1404.Tar^2$	0,94	P<0,01
Frísia	$F_{resp} = 75,8 - 6,0813.Tar + 0,1935.Tar^2$	0,97	P<0,01
Limousine	$F_{resp} = 77,881 - 6,1841.Tar + 0,1923.Tar^2$	0,95	P<0,01
Mertolenga	$F_{resp} = 74,0389 - 6,7407.Tar + 0,2246.Tar^2$	0,92	P<0,01

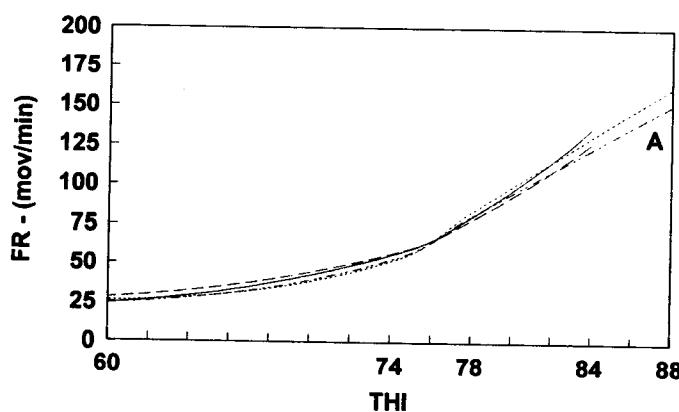
Fig. 4.10. Relações entre a frequência respiratória e a temperatura do ar

Ambos os grupos de equações assinalam tendências semelhantes da F_{resp} perante a Tar ou o THI. No caso da Tar os ajustamentos determinaram relações quadráticas, contrastando com os resultados obtidos por Gaughan *et al.* (2000) que, estudando raças de *Bos taurus*, registaram relações lineares com declives entre 2,87 e 3,27. No caso do THI as relações foram predominantemente lineares, sendo perceptível uma maior aproximação entre as raças, verificando-se dinâmicas virtualmente iguais. Importa registar a

elevada uniformidade das F_{resp} entre os indivíduos da mesma raça, originando um bom ajustamento das equações com um elevado R^2 , contrariando o observado por Hahn *et al.* (1997) que obtiveram coeficientes de variação superiores a 24%.

Segundo Hahn *et al.* (1997) a taxa com que aumenta a F_{resp} não é constante no tempo. Após um ligeiro aumento inicial, a F_{resp} só aumenta mais quando a temperatura ambiente se apresentar suficientemente alta para originar uma tendência clara para a hipertermia. A hipertermia reforça o aumento da F_{resp} numa progressão quadrática até ser atingida a máxima frequência.

A raça Mertolenga iniciou o aumento da F_{resp} a Tar relativamente baixas. Com o aumento da Tar aumentou a diferença entre a F_{resp} da raça Mertolenga relativamente às demais. Vários autores têm referido que a polipneia é desencadeada a temperaturas bastante diferentes e que esta ocorre a temperaturas 3-5°C inferiores aquelas que determinam o aumento da T_{rect} (Hahn *et al.*, 1997). Estas temperaturas limiares são muito variáveis e estão dependentes dos factores que influenciam a temperatura crítica superior (T_{cs}). As T_{cs} referidas na bibliografia variam entre 16°C para vacas da raça Frísia (em lactação) (Bianca, 1965) a 26-28°C para a raça Brahman (Yousef, 1985b; Hahn *et al.*, 1997).



Raça	Equação de regressão	R^2	Sig
Alentejana	$F_{resp} = -469,5590 + 7,0570 \cdot THI$	0,91	P<0,01
Frísia	$F_{resp} = -554,3206 + 8,1137 \cdot THI$	0,95	P<0,01
Limousine	$F_{resp} = 1478,532 - 43,2899 \cdot THI + 0,3251 \cdot THI^2$	0,92	P<0,01
Mertolenga	$F_{resp} = -535,4305 + 7,9335 \cdot THI$	0,94	P<0,01

Fig. 4.11. Relações entre a frequência respiratória e o índice de temperatura humidade

Na raça Mertolenga parece ser mais evidente a participação da F_{resp} como principal mecanismo antecipador de termorregulação. É referido que tanto a sudação como a polipneia são mecanismos que funcionam como antecipadores da hipertermia. Nos bovinos tropicais, ou aclimatizados aos trópicos, a sudação parece apresentar um maior protagonismo mantendo-se a F_{resp} a níveis proporcionalmente inferiores. Porém alguns autores referem que em espécies de menor massa (mais notório em espécies selvagens) parece registar-se um maior equilíbrio entre a sudação e a polipneia como mecanismos de antecipação da hipertermia (Wilson, 1989). As relações entre a massa corporal e a F_{resp} pode explicar parcialmente a maior utilização da polipneia. A ventilação do espaço morto aumenta com a F_{resp} e

representa de 30 a 60% da taxa de ventilação, que por sua vez é alométrica em relação à massa corporal com valor de 0,8, o que tende a favorecer os animais de menor massa (Schmidt-Nielsen, 1995). Nos animais domésticos, o maior equilíbrio na utilização das vias de termólise evaporativa carece ainda de confirmação definitiva, pois tal não foi ainda demonstrado em muitos estudos, nomeadamente os realizados com as raças N'Dama e Romosinuano (Amakiri e Funsho, 1979; Hammond *et al.*, 1996).

A raça Alentejana foi aquela que exibiu menores acréscimos da F_{resp} , o que face ao moderado incremento da T_{rect} , parece indicar uma maior importância relativa da sudação. Hahn *et al.* (1997) referem que, por vezes, se verifica uma certa estabilização da F_{resp} após ser atingida determinada temperatura, que na raça Frísia parece ser os 29°C e na raça Jersey os 32°C. No entanto, em todas as raças não foram encontrados quaisquer indícios de estabilização, sugerindo uma continuada progressão da F_{resp} até ao seu valor máximo tal como referem Spiers *et al.* (1994).

A sudação nos bovinos assume bastante importância. Em condições de stresse térmico severo, a perda de calor pela sudação pode contribuir com mais de 70% do calor dissipado por via evaporativa (McLean, 1963b). A sudação, sendo um processo activo, é desencadeada de acordo com a intensidade dos estímulos provenientes dos termossensores periféricos e reforçada de forma mais intensa pela maior estimulação dos termossensores centrais.

Sob o ponto de vista metodológico, a opção pelo método de Schleger e Turner (1965) para a medição da T_{sd} baseou-se essencialmente na simplicidade, rapidez de execução e possibilidade de controle efectivo durante as medições e por não originar grande stresse para os animais.

O dispositivo desenvolvido para efectuar as medições das T_{sd} permitiu elevadas homogeneidade e repetibilidade nos animais e entre medições e a possibilidade de execução de medições simultâneas em vários animais.

As taxas de sudação registadas (vide tabela 4.3.) foram influenciadas pelos factores Raça e Níveis de temperatura. As médias registadas no N1 traduzem provavelmente os valores da perspiração insensível. Estes resultados evidenciaram uma elevada uniformidade entre as raças, apesar dos valores algo inferiores da raça Frísia.

O aumento da temperatura das câmaras promoveu um aumento diferenciado das taxas de sudação. A raça Alentejana apresentou invariavelmente os maiores valores, enquanto que a raça Mertolenga apenas incrementou significativamente a sudação no N4. As raças exóticas apresentaram T_{sd} semelhantes, apresentando a raça Frísia valores algo superiores, principalmente a temperaturas mais baixas. As baixas T_{sd} da raça Limousine, mesmo nas condições de maior stresse térmico, parecem evidenciar alguma limitação na resposta face ao aumento da Tar.

Os valores encontrados no N4 na raça Frísia são semelhantes aos registadas por Silva *et al.* (1988) em animais da raça Frísia e inferiores aos da raça Jersey ($156 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$). Os valores registados na raça Limousine estão aquém dos normalmente observados para outros genótipos sujeitos a temperaturas semelhantes, embora Spiers *et al.* (1994) tenham encontrado na raça Angus valores inferiores ($84,7 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$). As T_{sd} apresentadas pela raça Alentejana assemelham-se às obtidas em bovinos mestiços de Brahman com Shorthorn (Finch *et al.*, 1982). A raça Mertolenga apresentou valores ligeiramente inferiores aos encontrados por Titto *et al.* (1998) nas raças Simmental e Marchigiana. Situação similar à da raça Mertolenga foi observada por Schleger e Turner (1965) e por Moran (1973) em zebus que apresentavam T_{sd} e T_{rect} inferiores aos taurinos, embora a F_{resp} observada na raça Mertolenga tenha sido bastante superior.

Em ambientes moderadamente quentes registam-se com frequência casos em que os zebuíos apresentam T_{sd} inferiores às dos animais de raças europeias, o que é normalmente atribuído a diferenças na T_{cs} e à maior eficiência de evaporação do suor. Nos zebus, devido às diferentes características da pelagem, o suor produzido evapora exclusivamente na pele, arrefecendo com mais eficiência a sua superfície (Allen *et al.*, 1970).

Nas raças presentes em estudo, estes factores parecem não apresentar grande relevância para justificar as diferenças encontradas, uma vez que, aquando da experiência, todas as raças exibiam pelagens de inverno com espessuras e características semelhantes (Pereira *et al.*, dados não publicados). Independentemente das eventuais limitações fisiológicas inerentes às raças (nativas ou exóticas) que possam justificar as menores T_{sd} observadas, há que considerar a aclimatização sazonal como um factor porventura penalizador. A experiência decorreu durante uma fase do ano em que são normalmente referidas menores T_{sd} . A esta inferioridade pode estar subjacente uma menor quantidade de folículos pilosos na fase anagénica e consequentemente um maior número de glândulas sudoríparas inactivas. Factores endócrinos e nervosos relacionados com a sazonalidade podem também estar envolvidos no processo (Schleger e Turner, 1965). Murray (1966) refere também que a fraca resposta das glândulas sudoríparas numa fase incipiente de aclimação/aclimatação pode ser devida a uma falta de condicionamento prévio, decorrente de ausência de estímulo em número e intensidade suficientes.

De forma a serem detectadas relações diferentes entre as vias de termólise e as restantes variáveis foram realizadas análises de correlação, cujos coeficientes significativos ($P<0,01$) são apresentados na tabela 4.5..

Tabela 4.5. - Coeficientes de correlação entre variáveis para cada raça

Raça Alentejana						Raça Frísia						
Tar	Tpl	Tpg	Trct	Frsp	Tsd	Tar	Tpl	Tpg	Trct	Frsp	Tsd	
	0,91	0,95	0,73	0,91	0,77	Tar		0,91	0,96	0,78	0,91	0,79
Tpl		0,97	0,68	0,73	0,66	Tpl			0,94	0,61	0,72	0,64
Tpg			0,69	0,8	0,71	Tpg				0,69	0,82	0,73
Trct				0,78	0,65	Trct					0,87	0,73
Frsp					0,77	Frsp						0,75
Tsd						Tsd						
Raça Limousine						Raça Mertolenga						
Tar	Tpl	Tpg	Trct	Frsp	Tsd	Tar	Tpl	Tpg	Trct	Frsp	Tsd	
	0,92	0,97	0,71	0,89	0,77	Tar		0,81	0,93	0,64	0,92	0,76
Tpl		0,96	0,61	0,79	0,68	Tpl			0,94	0,31	0,66	0,47
Tpg			0,64	0,83	0,74	Tpg				0,46	0,81	0,65
Trct				0,81	0,65	Trct					0,71	0,65
Frsp					0,72	Frsp						0,84
Tsd						Tsd						

A análise comparativa dos coeficientes de correlação permitiram evidenciar diferentes relações entre as variáveis. A Tar correlacionou-se com a T_{pg} de forma semelhante em todas as raças. Contudo, a sua relação com a T_{pl} evidenciou valores algo inferiores na raça Mertolenga. A Tar exibiu relações diferenciadas com a T_{rect} das várias raças, com valores superiores na raça Frísia e inferiores na raça Mertolenga. As relações entre a Tar e a F_{resp} e entre a Tar e a T_{sd} são similares para todas as raças. Estas

semelhanças vêm confirmar a necessidade de se ter em consideração o comportamento dinâmico das vias termolíticas e a respectiva eficácia na estabilidade da T_{rect} . Estas diferenças são comprovadas pelos diferentes coeficientes de correlação obtidos entre a T_{rect} , a F_{resp} e a T_{sd} .

A correlação entre a T_{rect} e a F_{resp} apresentou maiores coeficientes na raça Frísia e menores na raça Mertolenga. Estas diferenças mais acentuadas reflectem essencialmente a incapacidade da raça Frísia em manter a estabilidade da T_{rect} , uma vez que grandes aumentos da F_{resp} foram também acompanhados por aumentos na T_{rect} , originando elevado coeficiente de correlação. Na raça Mertolenga o menor coeficiente de correlação traduz a estabilidade da T_{rect} perante os aumentos da F_{resp} .

As correlações entre a F_{resp} e a T_{sd} apresentaram valores bastante diferentes. Notou-se que a raça Mertolenga apresentou um coeficiente de correlação superior às restantes, o que parece ilustrar uma maior importância relativa da F_{resp} . A raça Limousine parece apresentar uma relação em sentido contrário, manifestando uma menor importância relativa da F_{resp} . A heterogeneidade dos coeficientes de correlação nas várias raças parecem confirmar diferentes intensidades e proporcionalidades na utilização das vias de termólise perante o aumento da Tar.

Os valores de T_{sd} referidos na bibliografia foram obtidos por diferentes metodologias, o que dificulta o rigor das comparações. Muitos estudos têm revelado resultados discrepantes quanto à T_{sd} máxima. Em muitos casos é descurada a dinâmica da T_{sd} relativamente à Tar e principalmente à T_{rect} .

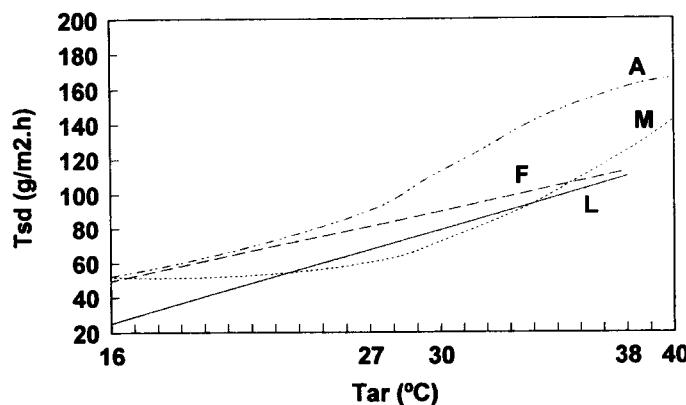
As comparações efectuadas entre genótipos (principalmente entre *Bos taurus* e *Bos indicus*) carecem frequentemente de elementos comuns, que possibilitem um maior rigor nas análises comparativas. Muitos dos estudos foram realizados em ambientes controlados, onde os animais são expostos durante algumas horas a temperaturas constantes com ou sem aclimação. Estes trabalhos, cujos resultados apresentam, contudo, grande exactidão e coerência, não apresentam condições para reflectir a complexidade das reacções ao ambiente de campo, onde a radiação solar e a ritmicidade circadiana e sazonal desempenham papel decisivo.

Nas comparações das T_{sd} entre diferentes raças há que ter em consideração que os indivíduos podem iniciar a sudação a temperaturas distintas. Esse facto pode *per si* condicionar a forma como evoluem as T_{sd} , que é na verdade o aspecto mais relevante. Factores intrínsecos à espécie, raça ou mesmo indivíduo, nomeadamente as relações com a polipneia térmica, podem condicionar a dinâmica da T_{sd} face ao aumento da Tar. Com efeito, a constatação de uma qualquer T_{sd} , mesmo que associada a uma qualquer temperatura do ar, é uma informação algo insuficiente ou mesmo irrelevante, caso não se possua a informação adicional da dinâmica da mesma e/ou do estado de homeotermia do indivíduo.

Para identificar eventuais diferenças entre as raças, relacionaram-se as T_{sd} com a Tar e com o THI (Fig. 4.12. e 4.13.).

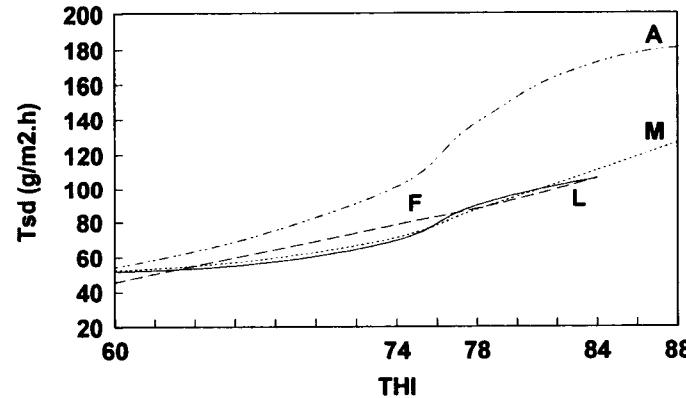
Perante o aumento da Tar os incrementos da T_{sd} foram bastante diferentes entre as raças. Nas raças exóticas a T_{sd} apresentou uma progressão linear. Na raça Frísia o declive é inferior apesar da T_{sd} ser superior a Tar mais baixas. Estas tendências estão de acordo com alguns estudos realizados em câmara climática, com *Bos taurus*, sob condições de stress térmico moderado, que apontam para uma relação linear entre a Tar e a T_{sd} (Finch, 1986).

Outros estudos referem que a relação da T_{sd} não é uniforme face ao aumento da Tar, salientando que se verificam fases de acréscimos decrescentes que precedem a fase de estabilização (Bianca, 1965; Schleger e Turner, 1965).



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = 354,6325 - 40,0851.Tar + 1,6182.Tar^2 - 0,0183.Tar^3$	0,82	$P<0,01$
Frísia	$T_{sd} = 3,5266 + 2,8831.Tar$	0,85	$P<0,01$
Limousine	$T_{sd} = -36,4464 + 3,8481.Tar$	0,70	$P<0,01$
Mertolenga	$T_{sd} = 140,4985 - 9,2459.Tar + 0,2324.Tar^2$	0,83	$P<0,01$

Fig. 4.12. Relações entre as taxas de sudação e a temperatura do ar



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = -2593,6940 + 62,2569.THI - 0,3491.THI^2$	0,69	$P<0,01$
Frísia	$T_{sd} = -1534,8570 - 40,5416.THI + 0,2819.THI^2$	0,82	$P<0,01$
Limousine	$T_{sd} = 16725,6101 - 661,6215.THI + 8,6973.THI^2 - 0,0378.THI^3$	0,87	$P<0,01$
Mertolenga	$T_{sd} = -220,9894 + 3,9531.THI$	0,85	$P<0,01$

Fig. 4.13. Relações entre as taxas de sudação e o índice de temperatura humidade

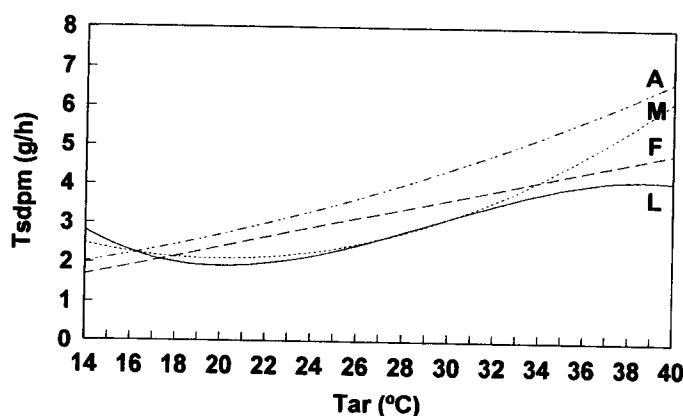
Nas raças nativas as relações registadas traduzem uma progressão curvilínea. A raça Alentejana parece desencadear a sudação a temperaturas mais baixas, registando um rápido e significativo incremento. A partir dos 37°C parece verificar-se uma tendência para a estabilização da T_{sd} , definindo uma curva do tipo sigmoidal. Na raça Mertolenga parece registrar uma fase de maior latência da T_{sd} , registando-se apenas incrementos significativos a Tar superiores a 30°C, não sendo perceptível qualquer tendência para a estabilização da T_{sd} . Allen (1962) registou resultados semelhantes em animais zebuínos

em que a T_{sd} começou a aumentar significativamente a partir de 29-32°C.

Schleger e Turner (1965) referem que sob stresse térmico moderado os animais taurinos apresentam T_{sd} superiores aos zebus, enquanto sob condições de stresse térmico mais severo a situação se inverte. As relações entre a T_{sd} e o THI acentuaram as diferenças entre a raça Alentejana e as demais. Entre as restantes as diferenças são pouco acentuadas, embora as relações estabelecidas pareçam indicar na raça Limousine uma estabilização precoce da T_{sd} .

As relações entre a taxa de sudação global por peso metabólico (T_{sdpm}) e a Tar estão representadas na Fig. 4.14..

As relações obtidas entre a T_{sdpm} e a Tar parecem confirmar, nas raças nativas, uma relevância crescente da sudação à medida que se acentua o stresse térmico. Na raça Limousine, o aumento da Tar parece não ter sido suficientemente para promover um aumento significativo da T_{sd} . A menor capacidade de produzir maior quantidade de suor, origina uma menor necessidade em água para a termorregulação, justificando os menores aumentos na ingestão de água. Na raça Frísia, apesar das limitações na T_{sd} , a resultante foi menos penalizadora para os animais devido provavelmente a uma relação mais favorável entre a T_{sd} e a menor massa corporal. Situação contrária parece ter ocorrido com a raça Alentejana, que devido à elevada produção de suor, conseguiu ultrapassar os condicionalismos decorrentes da maior massa corporal. Na raça Mertolenga, verificou-se a tendência para aumentos significativos da T_{sdpm} a temperaturas mais elevadas, reforçando a ideia que o aumento da T_{rect} poderá ser condição necessária para desencadear aumentos significativos da T_{sd} .



Raças	Equações de regressão	R ²	Sig.
Alentejana	$T_{sdpm} = 1,2719 + 0,0092.Tar + 0,0003.Tar^2$	0,77	P<0,01
Frísia	$T_{sdpm} = -0,0159 + 0,1213.Tar$	0,82	P<0,01
Limousine	$T_{sdpm} = 15,1584 - 1589.Tar + 0,5999.Tar^2 - 0,0006.Tar^3$	0,90	P<0,01
Mertolenga	$T_{sdpm} = 6,1511 - 0,4046.Tar + 1,0143.Tar^2$	0,83	P<0,01

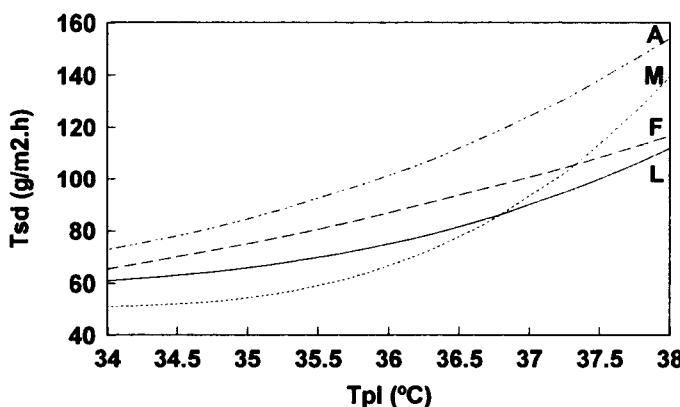
Fig. 4.14. Relações entre as taxas de sudação global por peso metabólico e a temperatura do ar

Vários estudos têm referido uma relação directa entre a T_{pl} e a T_{sd} (Gatenby, 1986; Ingram *et al.*, 1963). As relações entre as T_{pl} e as T_{sd} estão representadas na Fig. 4.15.

Nas raças exóticas o melhor ajustamento determinou uma relação quadrática, enquanto que nas raças nativas o melhor ajustamento foi conseguido com uma função cúbica. Gatenby (1986) refere que,

numa primeira fase, em que predominam os efeitos da vasodilatação periférica, verifica-se com frequência relações lineares entre a T_{pl} e a T_{sd} . No entanto, Ingram *et al.* (1963) verificaram que o aquecimento localizado da pele não desencadeia respostas uniformes na T_{sd} , salientando o papel importante da vasodilatação periférica. As respostas da T_{sd} parecem estar dependentes da temperatura inicial da pele (que revela níveis variáveis de vasodilatação). Se os animais apresentam T_{pl} elevadas (pressupondo extensa vasodilatação), o aquecimento localizado da pele desencadeia uma resposta rápida e intensa da T_{sd} . Todavia, se a T_{pl} é baixa (pressupondo eventualmente vasoconstricção) o aquecimento localizado da pele não origina qualquer resposta imediata, diferindo-a no tempo num período que pode atingir 2 horas.

Na raça Limousine parece ter ocorrido um maior desfasamento entre os aumentos da T_{pl} e os respectivos incrementos na T_{sd} . Esta situação apresenta algumas semelhanças com a raça Mertolenga, uma vez que os acréscimos iniciais da T_{pl} não se reflectiram em incrementos da T_{sd} . Constatou-se uma maior heterogeneidade na progressão da T_{sd} , mostrando porventura uma maior independência da T_{sd} face à T_{pl} . Apenas quando a T_{pl} se aproximou dos 36°C se verificou um aumento significativo da T_{sd} . Esta ocorrência poderá estar associada às maiores T_{pl} da raça Mertolenga nos N1, N2 e N3, onde parece ter sido preponderante uma maior dissipação de calor por via sensível e por via pulmonar. Na raça Frísia a T_{sd} apresentou uma resposta precoce face aos aumentos da T_{pl} , enquanto que a T_{sd} na raça Alentejana apresentou um comportamento dinâmico mais regular.



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = -2728,174 + 287,7474.T_{pl} - 9,9413.T_{pl}^2 + 0,1149T_{pl}^3$	0,90	P<0,01
Frísia	$T_{sd} = 557,4633 - 37,4844.T_{pl} - 0,679.T_{pl}^2$	0,82	P<0,01
Limousine	$T_{sd} = 1618,493 - 100,1462.T_{pl} - 1,5893.T_{pl}^2$	0,89	P<0,01
Mertolenga	$T_{sd} = -33811,89 + 3044,694.T_{pl} - 91,2632.T_{pl}^2 + 0,9119T_{pl}^3$	0,49	P<0,05

Fig. 4.15. Relações entre as temperaturas da pele e as taxas de sudação

As relações entre a T_{pl} e a T_{sd} apresentam algumas dificuldades de interpretação, uma vez que são susceptíveis de interferências recíprocas, dificultando uma discussão objectiva. Com efeito, com o aumento da T_{pl} verifica-se um aumento da vasodilatação periférica e o consequente aumento da T_{pl} . No entanto, a vasodilatação, através do maior aporte sanguíneo e do aumento da temperatura local, cria condições para um aumento da T_{sd} . A sudação inicia-se sem que se vislumbre ainda qualquer indício de

armazenamentos de calor, originando interferências variáveis na T_{pl} de acordo com o volume de suor evaporado.

Taneja (1959b) constatou que, quando a T_{pl} aumenta, a T_{sd} tende a acompanhar esse incremento, verificando-se situação semelhante quando ocorre uma estabilização da T_{pl} . Esta situação parece ter ocorrido em todas as raças em estudo, embora nos casos das raças Alentejana e Frísia essa relação tenha sido mais regular ao longo da gama de T_{pl} .

Gatenby (1986) refere uma relação exponencial entre a T_{pl} e a T_{sd} , embora Blackshaw e Blachshaw (1994) salientem as diferenças entre genótipos como o factor mais determinante nas diferenças verificadas: nos *Bos taurus* predominam relações lineares, enquanto que nos zebus os incrementos da T_{sd} só parecem ocorrer quando a T_{pl} atinge os 35°C; situação algo semelhante à observada com a raça Mertolenga.

Vários estudos têm salientado que a relação entre a T_{pl} e a T_{sd} está dependente em grande parte da capacidade de sudação intrínseca a cada indivíduo. Taneja (1959a) observou, em animais cruzados com zebu, que o aumento da Tar originava um incremento do suor evaporado, sem interferência na T_{pl} . Todavia, nos Shorthorn, o mesmo aumento da Tar também originou um aumento da T_{sd} , mas foi acompanhado também por um aumento da T_{pl} . Estas discrepâncias foram atribuídas aos diferentes volumes de suor evaporados.

Com efeito, em condições de stresse térmico severo as maiores T_{sd} apresentam uma marcada influência na diminuição da T_{pl} , observando-se que a T_{pl} das raças zebuínas tende a ser inferior à das raças *Bos taurus* (Taneja, 1959b; Davis e Mader, 2001). Situação idêntica parece ter ocorrido com a raça Mertolenga que no nível 4 exibiu as menores T_{pl} , contrariamente ao que havia ocorrido nos níveis anteriores.

Finch (1986) salienta que um maior arrefecimento da superfície da pele, resultante do aumento da evaporação cutânea, favorece a manutenção de um gradiente térmico mais favorável entre o núcleo e a periferia, valorizando as perdas de calor por convecção. Este gradiente é tanto maior quanto maior o volume de suor evaporado. Neste caso, menores T_{pl} estão associadas a T_{sd} proporcionalmente maiores. A relação entre a T_{pl} e a T_{sd} parece estar sobretudo dependentes da diferença entre a Tar e a Tcs, da T_{sd} máxima e das condições existentes para a evaporação do suor produzido.

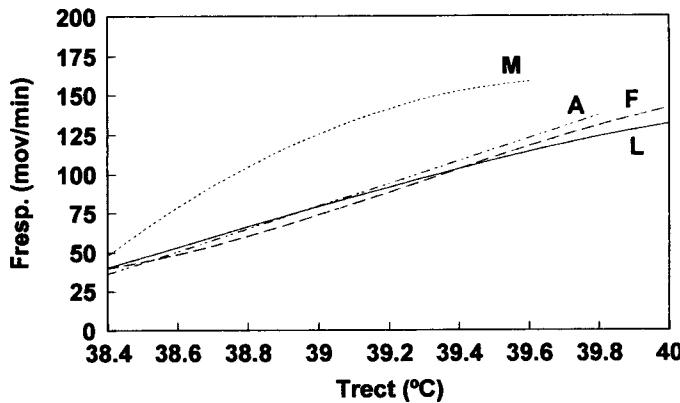
Nos zebus, que apresentam maiores T_{sd} , a partir de um dado momento verifica-se uma tendência para a estabilização da T_{pl} e da T_{rect} . Porém, nos *Bos taurus* tanto a T_{rect} como a T_{pl} tendem a aumentar para valores bastante acima dos zebuínos (Taneja, 1959a). Situação semelhante parece ter ocorrido com as raças exóticas, em particular com a Frísia, enquanto que a raça Mertolenga pareceu exibir um comportamento mais semelhante aos zebuínos. A raça Alentejana exibiu um comportamento intermédio, uma vez que também registou alguns incrementos na T_{rect} .

Gatenby (1986) refere que a relação entre a T_{sd} e a T_{pl} é um indicador menos preciso que a relação com a T_{rect} , uma vez que esta possibilita uma comparação mais exacta das dinâmicas das T_{sd} entre as raças.

Apesar da polipneia térmica e da sudação serem vias de termólise antecipadores da hipertermia, o protagonismo que assumem face ao stresse térmico pode ser bastante diverso. McLean et al. (1963b) referem que, em bovinos a 20°C, as perdas de calor por evaporação cutânea e por pulmonar se equiparam, enquanto que a 40°C a polipneia térmica é responsável por cerca de 20% do calor dissipado.

Nos bovinos, as diferenças na importância relativa da F_{resp} e da T_{sd} , além de estarem associadas a uma componente filogenética, são o resultado de interacções de vários factores: idade, tamanho, condição corporal, aclimatação e genética (Hahn *et al.*, 1997). O modo como se incrementam as vias de termólise latente parece estar dependente da temperatura que desencadeia o seu início. Tendo em consideração a multiplicidade de factores que influenciam as temperaturas críticas superiores, importa que se estabeleçam bases para uma efectiva comparação inter-racial. Sendo que a T_{rect} , num dado momento, depende da energia térmica armazenada por unidade de massa corporal, é possível quantificar a acção das vias termolíticas relativamente aos incrementos do armazenamento de calor. Atendendo à T_{rect} que cada indivíduo apresenta em condições de termoneutralidade, os acréscimos desta, resultante da ineficácia das vias termolíticas, reforçam a intensidade da termólise evaporativa (Hahn *et al.*, 1997). A T_{rect} , neste caso, ao invés de figurar como variável dependente, resultante da acção da eficácia das vias termolíticas, é variável independente susceptível de permitir distinguir os limiares de activação e a actividade das vias termolíticas perante crescentes armazenamentos de calor.

As relações entre a T_{rect} e a F_{resp} estão representadas nas Fig. 4.16.



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$F_{resp} = -2739,7120 + 72,2917.T_{rect}$	0,87	P<0,01
Frísia	$F_{resp} = 993601,2 - 76030,83.T_{rect} + 1937,582.T_{rect}^2 - 16,443.T_{rect}^3$	0,91	P<0,01
Limousine	$F_{resp} = 292048,6 - 22800,75.T_{rect} + 591,76.T_{rect}^2 - 5,10.T_{rect}^3$	0,93	P<0,01
Mertolenga	$F_{resp} = -97046,69 + 4891,266.T_{rect} - 61,53.T_{rect}^2$	0,81	P<0,01

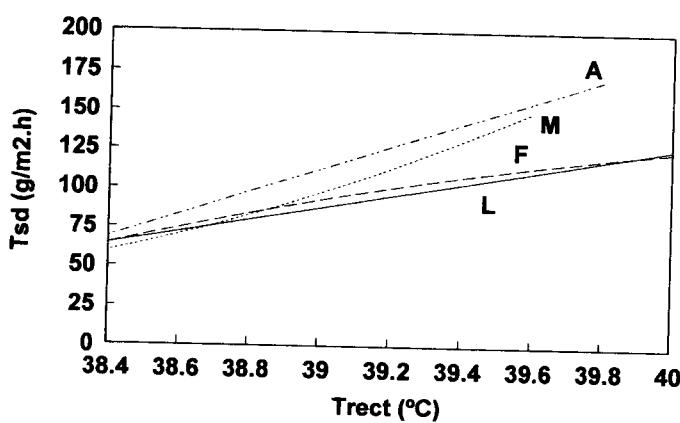
Fig. 4.16. Relações entre a frequência respiratória e a temperatura rectal

As relações observadas entre a T_{rect} e a F_{resp} confirmaram dinâmicas da F_{resp} diferentes entre as raças, perante o aumento da T_{rect} . Exceptuando a raça Mertolenga, todas as raças apresentaram uma relação positiva entre a F_{resp} e T_{rect} . A linearidade da resposta da F_{resp} face ao aumento da T_{rect} observada na raça Alentejana assemelha-se à referida para animais cruzados de zebuíños, que apesar apresentarem aumentos apreciáveis da T_{sd} , evidenciaram também incrementos proporcionais da F_{resp} (Allen, 1962; Rajaratne *et al.*, 1983; Patel *et al.*, 1985). As diferenças registadas entre as raças exóticas resultaram essencialmente da diferente contribuição da F_{resp} para a manutenção da T_{rect} , onde os aumentos da T_{rect} corresponderam acréscimos decrescentes da F_{resp} . Esta situação, conjugada com as menores T_{sd} observadas justificam a tendência mais acentuada para maiores armazenamentos de calor. Situações

análogas são referenciadas em vários estudos com genótipos de *Bos taurus* (Johnston *et al.*, 1963; Kibler, 1964; Collier *et al.*, 1981; Johnson, 1985; Muller e Botha, 1993). Na raça Mertolenga foram observados acréscimos bastante evidentes da F_{resp} logo na fase inicial de aumento da T_{rect} , que terão contribuído significativamente para a manutenção da estabilidade da T_{rect} . A F_{resp} parece ter sido a via preferencialmente utilizada no início do stresse térmico mas que foi perdendo relevância à medida que aumentou o armazenamento de calor. Perante o aumento da T_{rect} a T_{sd} assumiu um papel preponderante, reduzindo o protagonismo da F_{resp} . A ausência de incrementos relevantes na T_{rect} parece reforçar a ideia do contributo e da eficácia da F_{resp} para a manutenção da homeotermia, principalmente durante o início do stresse térmico. Estas relações contrariam, em boa parte, alguns resultados obtidos em vários estudos, em que maiores aumentos da F_{resp} estão normalmente associados à incapacidade de manter a homeotermia e por conseguinte à menor tolerância ao calor (Allen, 1962; Rajaratne *et al.*, 1983; Patel *et al.*, 1985;). A F_{resp} e a taxa de ventilação (proporcionalmente maiores em animais de menor massa corporal) poderão justificar parcialmente o maior protagonismo e eficácia da polipneia (Schmidt-Nielsen, 1995), no entanto, a heterogeneidade dos resultados observados em vários estudos (Amakiri, 1974; Amakiri e Funsho, 1979; Hammond *et al.*, 1996) conduzem à ideia que outros mecanismos e condicionantes possam estar envolvidos nesta reacção singular exibida pela raça Mertolenga.

Para estabelecer uma comparação efectiva das T_{sd} das várias raças e ultrapassar a questão inherente às prováveis diferenças nas T_{cs} foram relacionadas as T_{sd} e as T_{rect} (Fig. 4.17.).

Para uma efectiva comparação das T_{sd} entre as raças importa considerar a temperatura que desencadeou a sudação e a progressão desta ao longo de crescentes armazementos de calor. Impede-se assim que sejam subvalorizadas as T_{sd} de uma raça apenas porque esta iniciou a sudação mais tarde a uma maior temperatura ambiente.



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = -2734,9730 + 73,0117.T_{rect}$	0,80	P<0,01
Frísia	$T_{sd} = -15512,93 + 758,5204.T_{rect} - 9,189.T_{rect}^2$	0,72	P<0,01
Limousine	$T_{sd} = -1437,8 + 39,1149.T_{rect}$	0,78	P<0,01
Mertolenga	$T_{sd} = 28490,37 - 1531.422.T_{rect} + 20,5998.T_{rect}^2$	0,81	P<0,01

Fig. 4.17. Relações entre as taxas de sudação e as temperaturas rectais

As relações entre a T_{sd} e a T_{rect} evidenciaram duas situações distintas. Nas raças exóticas registou-se

uma menor resposta nas T_{sd} face aos progressivos aumentos da T_{rect} , confirmado os indícios observados relativamente à Tar. Perante o aumento da T_{rect} verificou-se uma resposta insuficiente da T_{sd} que não garantiu a estabilidade da temperatura corporal. Gatenby (1986) refere que, nos *Bos taurus*, devido às maiores limitações na produção de suor, se encontram relações mais estreitas entre a T_{sd} e a T_{pl} relativamente à T_{rect} . Com efeito, os incrementos da T_{rect} nem sempre são acompanhados por aumentos proporcionais da T_{sd} . Titto *et al.* (1998), estudando as raças Nelore, Simental e Marchigiana, também observaram uma relação inversamente proporcional entre a T_{sd} e a T_{rect} , apresentando a raça Nelore maiores T_{sd} e uma clara superioridade na manutenção da homeotermia.

A raça Frísia, perante o aumento da T_{rect} , apresentou uma estabilização precoce da T_{sd} , tal como é referido em vários estudos com animais *Bos taurus* (Finch *et al.*, 1982; Robertshaw, 1985; Finch, 1986).

As raças nativas apresentaram uma capacidade de resposta da T_{sd} bastante superior. A raça Alentejana apresentou uma progressão linear da T_{sd} , cujo declive elevado parece reforçar a ideia da grande importância da sudação na manutenção balanço térmico, evidenciando um padrão similar aos animais moderadamente tolerantes ao calor, nomeadamente os cruzados de zebuíños (Allen, 1962; Johnson, 1970; Moran, 1973).

Situação similar foi registada por Spiers *et al.* (1994) com a raça Romosinuano, descendente de raças da Península Ibérica, que apresentou um rápido e expressivo aumento da T_{sd} logo que se verificaram os primeiros indícios de aumentos da T_{rect} . Esta rápida resposta da T_{sd} face às variações iniciais da T_{rect} é descrita para os animais mais tolerantes ao calor. Porém, nestes casos, as alterações da T_{rect} tendem a ocorrer mais tarde, a Tar mais altas do que aquelas que se registaram na raça Alentejana (Finch *et al.*, 1982).

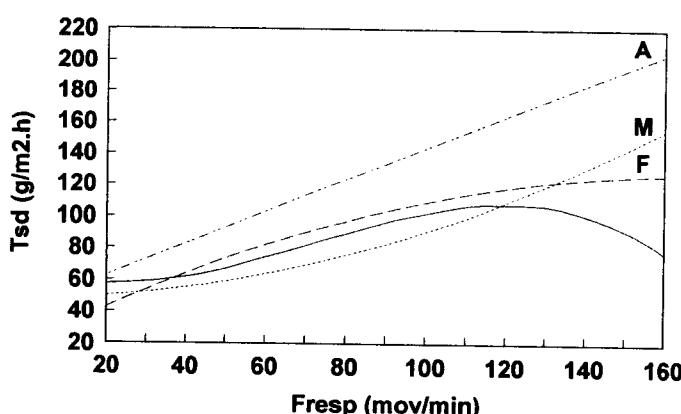
Na raça Mertolenga a acentuada progressão curvilínea da T_{sd} parece indicar uma importância crescente da T_{sd} à medida que aumenta a T_{rect} . Finch *et al.* (1982) observaram situação semelhante na raça Brahman com progressão exponencial da T_{sd} face à T_{rect} . Este comportamento é frequentemente descrito para as raças zebuínas, que tendem a manifestar T_{sd} crescentes perante os aumentos da T_{rect} (Silva, 2000). Porém, os aumentos iniciais da T_{rect} não originaram uma resposta correspondente na T_{sd} , sendo por isso este padrão algo distinto do exibido pelas raças zebuínas. A maior F_{resp} observada aquando dos aumentos iniciais da T_{rect} , sugere que os mecanismos de termólise evaporativa tenham permutado de protagonismo face ao crescente aumento da T_{rect} .

Para se aquilatar da importância relativa das vias de termólise evaporativa face ao aumento da Tar, foram relacionadas de forma sincrónica os valores das F_{resp} e das T_{sd} (Fig. 4.18). A relação entre a F_{resp} e a T_{sd} nas várias temperaturas ambiente permitiu identificar proporcionalidades distintas dentro e entre as raças.

Nas raças exóticas, à medida que se acentuou o stresse térmico (com a maior necessidade em perder mais calor por via latente) registou-se uma diminuição da importância relativa da T_{sd} relativamente à F_{resp} . As limitações da T_{sd} durante os períodos de maior stresse térmica foram provavelmente a principal causa para os maiores aumentos da T_{rect} . Estes desequilíbrios parecem mais acentuados na raça Limousine, onde se verificaram menores respostas da T_{sd} face aos aumentos da F_{resp} .

As raças nativas apresentaram relações bastante diferentes. Em ambas as raças os aumentos da F_{resp} foram acompanhados por aumentos proporcionais da T_{sd} . Na raça Alentejana, com o incremento do stresse térmico, a relação entre ambas manteve-se inalterável, o que pressupõe uma importância semelhante da

T_{sd} na manutenção do equilíbrio térmico e em resposta ao crescente stresse térmico.



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = 42,2787 + 1,0130.F_{resp}$	0,76	$P<0,01$
Frisia	$T_{sd} = 18,6801 + 1,2820.F_{resp} - 0,0037.F_{resp}^2$	0,81	$P<0,01$
Limousine	$T_{sd} = 66,3022 - 0,8548.FR + 0,0227F_{resp}^2 - 0,0001.F_{resp}^3$	0,81	$P<0,01$
Mertolenga	$T_{sd} = 48,0326 + 0,0188.F_{resp} + 0,004.F_{resp}^2$	0,86	$P<0,01$

Fig. 4.18. Relações entre as frequências respiratórias e as taxas de sudação

A raça Mertolenga apresentou uma relação algo diferente das restantes raças. Numa fase inicial de stresse térmico moderado, verificou-se uma clara predominância da F_{resp} , enquanto que em condições de stresse térmico mais severo se constataram aumentos proporcionalmente superiores da T_{sd} . Estas diferenças parecem sugerir que o equilíbrio térmico tenha sido atingido preferencialmente pela F_{resp} durante as primeiras fase de stresse térmico, sendo a sudação quando se verificam maiores armazenamentos de calor.

Integrando os resultados registados, uma análise global permite identificar diferenças substanciais na forma de utilização da termólise evaporativa e da sua respectiva eficácia.

As raças exóticas apresentaram uma maior dificuldade em manter estável a sua T_{rect} , o que parece ser devido a uma T_{sd} insuficiente (com precoce estabilização da produção de suor a Tar relativamente baixas), principalmente durante os períodos de stresse térmico mais severos. Os substanciais aumentos da F_{resp} revelaram-se insuficientes para impedir o aumento da T_{rect} . Esta dificuldade em manter estável a T_{rect} é situação, tem sido referida em vários estudos, sendo sugeridas como principais causas a fraca sudação, a menor eficiência da evaporação do suor e a maior produção de calor metabólico (Allen, 1962; Joshi et al., 1968; Amakiri e Funsho, 1979). Todavia, os limitados incrementos da T_{rect} observados na raça Limousine, sugerem uma ligeira superioridade na dissipaçāo de calor, comparativamente com outras raças *Bos taurus* estudadas em condições semelhantes (Berbigier, 1985; Berbigier 1988).

Na raça Alentejana os mecanismos de termólise evaporativa foram mais eficientes que os das raças exóticas. Perante o aumento da Tar as vias de termólise evaporativa foram desencadeadas de forma precoce e intensa, principalmente a T_{sd} . Esta situação é característica de animais mais tolerantes ao calor, onde são registadas respostas rápidas e intensas da T_{sd} , logo que são atingidas as Tcs (Taneja, 1959a; Robertshaw, 1985;). Os níveis de termólise foram aumentando com o aumento da Tar, numa acção antecipadora da hipertermia e foram reforçados posteriormente pelos aumentos do armazenamento de

calor, permitindo controlar com razoável eficácia os acréscimos da T_{rect} . A F_{resp} complementou a ação da T_{sd} com uma importância relativa similar ao longo do estresse térmico.

A raça Mertolenga apresentou algumas singularidades devido à coexistência de uma elevada estabilidade da T_{rect} com elevada F_{resp} . É referido por vários autores que a maior capacidade para manter a homeotermia está associada a elevadas T_{sd} , e que o recurso a elevadas F_{resp} depreende menores T_{sd} , e por conseguinte menor tolerância ao calor. Porém, na raça Mertolenga a polipneia térmica, que se verificou desde o início do estresse térmico moderado, não parece estar relacionada com uma clara incapacidade de suar. Na verdade, o que parece ter ocorrido foi um diferimento temporal do incremento da T_{sd} para T_{ar} superiores e/ou quando se verificaram os primeiros indícios de armazenamento de calor. Nesta situação, constatou-se uma progressão exponencial da T_{sd} face à T_{rect} que é característica das raças zebuínas bastante tolerantes ao calor (Finch *et al.*, 1982).

A estratégia utilizada pela raça Mertolenga concilia dois aspectos paradoxais quanto às características associadas à maior tolerância ao calor: por um lado o recurso extemporâneo à polipneia térmica, sinônimo de susceptibilidade ao calor e por outro lado o aumento exponencial da T_{sd} face ao aumento da T_{rect} , característico das raças mais tolerantes. A justificação para o ocorrido suscita uma abordagem mais holística.

Bligh e Allen (1970) referem que o grau de dependência da sudação e da polipneia pode ser relacionado com as características morfológicas da espécie e a natureza do ambiente, embora salientem que estas relações tenham sido objecto de pouca atenção. Louw (1993) reforça esta ideia, sugerindo que algumas famílias de bovídeos selvagens, presentes no mesmo habitat, apresentam uma predominância da sudação, enquanto outras privilegiam a polipneia térmica. Com efeito, as comparações entre as semelhanças e as diferenças dos processos termorreguladores de diferentes espécies ou mesmo de diferentes raças devem considerar a história evolutiva dos indivíduos, mas também relacionando os factores ambientais mais recentes a que os animais têm vindo a ser sujeitos (Bligh, 1998; Louw, 1993). Esta diversidade funcional nas estratégias termorreguladoras dos animais selvagens, resultante da integração dos metabolismos energético e hídrico, poderá servir de base especulativa para uma possível explicação do ocorrido com a raça Mertolenga.

Uma boa parte dos estudos acerca da tolerância ao calor tiveram como base a comparação entre raças zebuínas de clima tropicais e raças taurinas de climas temperados. Os primeiros foram evoluindo sob condições térmicas normalmente desfavoráveis e apresentam características anatomo-fisiológicas que lhes facultam uma maior tolerância ao calor. Porém, os segundos evoluíram sob condições térmicas mais favoráveis, em ambiente sem restrições hídricas acentuadas e foram seleccionados para produzir grande quantidade de calor metabólico. Finch (1986) salienta que mesmo os animais *Bos taurus*, que vivem em algumas regiões com Verões secos (com períodos de intermitência na disponibilidade de água) apresentam frequentemente adaptações que valorizam a economia da energia e da água.

A importância relativa das vias de termólise evaporativa pode, portanto, variar consoante as espécies ou mesmo dentro da espécie em resposta a diferentes estímulos térmicos e face a diferentes estados de desidratação (Wilson, 1989; Silanikove, 1992; Lovegrove, 1999). Considerando a componente filogenética e a sua relação com o habitat, podem encontrar-se em bovídeos selvagens alguns exemplos de diferentes estratégias termorreguladoras, susceptíveis de ilustrar de forma mais abrangente as relações entre os diferentes tipos de animais, a sua termorregulação e o seu ecotipo (Taylor, 1970; Bligh, 1998), e

servir de base de discussão para o registado nas raças nativas, principalmente a Mertolenga. O alcéfalo (*Alcelaphus buselaphus*), que habita savanas com variável grau de aridez, mantém a sua T_{rect} entre os 38-40°C. Inicia precocemente a F_{resp} que pode atingir valores de 200 mov.min⁻¹. As perdas de água por sudação são comparativamente pequenas e a perda de água por via pulmonar corresponde a 62% da perda total (Wilson, 1989). O gnu (*Connochaetes taurinus* e *Connochaetes gnu*), presente em habitat semelhante, apresenta uma faixa mais estreita de variação da T_{rect} (39-40°C) e exibe também uma predominância da F_{resp} , que se inicia aos 28°C. Apesar de possuir glândulas sudoríparas funcionais a importância relativa da sudação é bastante inferior (Wilson, 1989). No entanto, o búfalo-do-cabo (*Syncerus caffer caffer*), que habita em savanas mais húmidas, mantém a sua T_{rect} entre 38-40°C e utiliza a sudação como via privilegiada para perder calor, apresentando ainda assim F_{resp} bastante elevadas durante os períodos de stresse térmico mais severo. Contudo, quando sujeito a maiores restrições hídricas aumenta a preponderância da F_{resp} na perda de calor (Taylor, 1970; Wilson, 1989).

Em condições de maior aridez começam a ocorrer situações de bradimetabolismo, como são os casos do elande (*Taurotragus oryx*) e do órix (*Oryx gazella* e *Oryx beisa*) (Wilson, 1989; Lovegrove, 1999;). No elande a sudação inicia-se aos 32-34°C, mas a esta temperatura apenas pequenos volumes de água são perdidos. A partir dos 38°C verifica-se então um apreciável aumento da perda de água por sudação. Também se verificam aumentos da F_{resp} , embora este processo apresente uma menor importância relativa (Finch, 1972). No órix a versatilidade fisiológica é maior. Além de uma maior extensão do bradimentabolismo, consegue variar a sua via preferencial de dissipaçao de calor evaporativo de acordo com o seu grau de desidratação. Em situação de hidratação normal a sudação assume maior relevância, quando desidratado a sudação diminui e assume maior importância a perda de calor por via pulmonar (Taylor, 1970).

Na raça Mertolenga os moderados acréscimos na ingestão de água (já constatados na experiência anterior), mesmo sob condições de maior T_{sd} , parecem reforçar a ideia da eficiência na utilização da água. Alves *et al.* (dados não publicados) utilizando óxido de deutério, observou em novilhos da raça Mertolenga, em termoneutralidade e sob condições de restrição hídrica, mecanismos eficientes de economia hídrica que se repercutiram por baixos turnover da água e fezes muito desidratadas.

Ponderando estas duas situações, não parece possível afirmar de forma categórica que o recurso a precoces aumentos da F_{resp} , possa *per si* significar desde logo uma intolerância ao calor, mas antes poderá ser o resultado de estratégias termorreguladoras algo diferenciadas, que possam ter uma forte ligação com o metabolismo hídrico. Atendendo ao ambiente semi-árido em que a raça Mertolenga foi evoluindo, poderá especular-se se a intermitente disponibilidade de água aliada à elevada radiação solar não possa ter contribuído para uma maior versatilidade funcional das vias termorreguladoras. O recurso à polipneia térmica poderá ser visto como uma via mais eficiente para poupar água, considerando a incapacidade de recurso ao bradimetabolismo e à limitada capacidade de concentração urinária (Wilson, 1989; Lovegrove, 1999). Poderão ser assim parcialmente explicados os limitados aumentos da ingestão de água mesmo sob as condições mais severas de stresse térmico. Todavia, os mecanismos de poupança hídrica costumam ser mais exuberantes quando os animais se encontram desidratados (Silanikove, 1992; Lovegrove, 1999). Como que esta situação ocorreu com disponibilidade de água *ad libitum*, é lícito suspeitar que outros factores possam estar envolvidos no processo.

Um factor a considerar neste estudo, e que provavelmente terá penalizado a capacidade

termolíticas de todas as raças é a aclimatação sazonal. No cenário de inverno em que foi realizada a experiência, os animais apresentam um balanço neuro-endócrino ajustado para temperaturas mais frias, com maior produção de calor metabólico, com pelagens mais espessas e com menor número de folículos pilosos na fase anagénica. Estas características tendem a valorizar a termogénese e a penalizar a termólise, devido à maior dificuldade em perder calor por via sensível e ainda por uma subestimação da termólise evaporativa, nomeadamente a sudação (Kadzere *et al.*, 2002). Além de maior números de glândulas sudoríparas inactivas, pode registar-se uma maior latência funcional devido à ausência de pré-condicionamento pelo calor, o que vai favorecer o incremento inicial da F_{resp} como via alternativa de termólise evaporativa (McLean, 1963c; Udo, 1978). Portanto, importa reavaliar a capacidade termolítica após a aclimatação às condições de Verão, tendo também em conta a radiação solar, que é normalmente um factor estimulante da sudação. Importa portanto alargar os estudos a outras raças presentes em ambiente semi-árido, de forma a identificar se a tendência manifestada pela raça Mertolenga se mantém e introduzir uma componente associada ao metabolismo hídrico. A abrangência às componentes filogenéticas e evolutivas pode permitir explicações mais completas.

5. ESTUDO COMPARATIVO DAS REACÇÕES FISIOLÓGICAS, DA INTENSIDADE DE FUNCIONAMENTO DAS VIAS TERMÓLITICAS E DA CONDUTÂNCIA SOB A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR

5.1. Introdução - Enquadramento bibliográfico

A compreensão de boa parte dos mecanismos termorreguladores advém de estudos em câmaras climáticas onde predominam as medições calorimétricas. Nestes casos, as temperaturas do ar e as pressões de vapor são convenientemente controladas e as permutes de calor sensível e latente são normalmente medidas num estado de equilíbrio. Devido à capacidade de controle individual das variáveis ambientais é possível associar com mais exactidão as alterações ambientais programadas às consequências fisiológicas. Embora com inúmeras vantagens, as avaliações realizadas nas câmaras climáticas apresentam algumas limitações. Algumas variáveis fisiológicas apresentam valores algo diferentes consoante sejam medidas no campo ou em câmara (Murray, 1966; Murray 1982). Além disso, no campo, as variáveis ambientais não só variam constantemente como ainda interagem entre si de forma diferente, provocando alterações relevantes nos fluxos de calor. As relações dos animais com o meio exterior são bastante mais complexas, frequentemente com resultados menos inequívocos e comparações mais difíceis de estabelecer.

As questões de micrometeorologia aplicadas aos animais são complexas, tanto do ponto de vista teórico como experimental. Os animais apresentam-se como formas irregulares, tridimensionais, cuja orientação relativa ao sol muda frequentemente, de acordo com padrões comportamentais. Face às frequentes variações da radiação solar, temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do vento, os animais activam rapidamente compensações fisiológicas que visam o restabelecimento do equilíbrio dos fluxos de calor (Finch *et al.*, 1982).

As permutes de calor por radiação entre o animal e o ambiente assumem uma grande importância nos climas tropicais, nos desérticos, e mesmo nos temperados quentes. Os desafios que se colocam ao animal sob o ponto de vista da termorregulação variam portanto de acordo com o tipo climático.

Nas regiões tropicais húmidas, as elevadas temperaturas e humidades relativas constituem um obstáculo sério à termorregulação, uma vez que a eficiência da termólise latente está parcialmente comprometida. A uniformidade climática, evidenciada por menores amplitudes térmicas diárias, é também desfavorável devido à ausência de gradientes térmicos favoráveis durante os períodos nocturnos que facilitem a dissipação do calor armazenado durante o dia. A uniformidade do fotoperíodo também condiciona alguns aspectos fisiológicos relacionados com o crescimento da pelagem, ciclos reprodutivos e taxa metabólica (Ingram e Mount, 1975).

Nas regiões com elevada aridez os constrangimentos são outros mas igualmente severos. Durante o dia, a intensa radiação solar (que pode atingir 1000 W.m^{-2}) determina grande desconforto e constitui um sério desafio. Na verdade, durante várias horas por dia, os animais são sujeitos a uma grande intensidade de radiação e a níveis elevados de radiação infravermelha proveniente do solo, que originam no seu conjunto temperaturas radiantes frequentemente acima da própria temperatura nuclear. As elevadas amplitudes térmicas entre o dia e a noite são frequentemente utilizadas para uma efectiva recuperação do stresse térmico. As baixas disponibilidades hídricas são obstáculo adicional. A necessidade de garantir

tanto a homeotermia como o equilíbrio hídrico conduziu a estratégias de utilização de arrefecimento nocturno para garantir a homeotermia (Louw, 1993). Alguns animais adaptados a condições de aridez permitem a elevação da sua temperatura corporal acima dos limites normais de variação. Estritamente, os animais que apresentam estas características são bradimetabólicos funcionais mais do que taquimetabólicos (Schmidt-Nielsen *et al.*, 1957).

No clima Mediterrâneo, os meses de Verão apresentam muitas semelhanças com os dos climas semi-áridos. Devido à quase ausência de chuvas, os dias claros e a baixa humidade relativa determinam intensa radiação com elevadas temperaturas e, frequentemente, grandes amplitudes térmicas diárias. Nestas condições tendem a ocorrer durante o dia variáveis armazenamentos de calor, invertendo-se a situação durante a noite. A velocidade com que ocorrem estas permutas de calor depende em boa parte da capacidade do ambiente em aceitar o calor do animal e das várias resistências térmicas que se interpõem entre o núcleo do animal e o ambiente exterior.

A velocidade com que o calor flui do núcleo do animal para o exterior é condicionada pelo somatório das resistências térmicas associadas aos tecidos e à pelagem (processo análogo à Lei de Ohm), que conferem um determinado grau de isolamento ou a recíproca condutância.

A condutância pode ser representada de forma simplificada relacionando o calor metabólico, que requer dissipação, com o gradiente térmico entre o núcleo do corpo e o meio exterior. Neste caso, o efeito do isolamento da pelagem é incluído, negligenciando no entanto o calor perdido por termólise latente obrigatória. O fluxo de calor é dado por unidade de massa corporal (Jessen, 2001):

$$C_{tot} = C_{met} / (T_{nuc} - T_{ar}) \quad [W \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C]$$

Os valores de condutância medidos em laboratório podem implicar alguns erros, uma vez que no ambiente natural esta depende do posicionamento do animal e das atitudes comportamentais assumidas. Factores como a superfície corporal efectivamente exposta à radiação, velocidade do vento, posicionamento face ao sol e à direcção do vento, determinam alterações na energia permituada por radiação e convecção.

A condutância inerente a cada indivíduo está relacionada com o seu propriedade de massa corporal e com o ambiente a que está sujeito. A condutância específica relaciona o fluxo de calor por unidade de massa corporal e permite estabelecer uma base comparativa entre os vários mamíferos. A condutância específica é bastante variável e diminui com a massa corporal. Animais com maior massa apresentam menor condutância específica ou seja maior isolamento relativamente à massa corporal. Por outro lado, apresentam superfícies específicas menores e menor perda de calor por unidade de massa corporal (Eckert *et al.*, 1997). A condutância mínima (C^*) é maior nos animais de menor massa e relaciona-se com a massa corporal através da equação alométrica:

$$C^* = 40,1 \cdot M_{corp}^{-0,426}$$

Nos animais mais pequenos, em condições de vasoconstricção periférica máxima, o calor flui do núcleo do corpo para a pele a uma velocidade proporcionalmente superior à que ocorre nos animais de maior massa, e por isso tendem a apresentar temperaturas críticas inferiores relativamente maiores (Yousef, 1985).

A condutância de um indivíduo pode alterar-se dentro de certos limites. Alterações do comportamento, da vasomotoricidade e da área da superfície corporal exposta à radiação modificam a

velocidade do fluxo de calor entre o animal e o ambiente. A importância dos ajustamentos circulatórios varia consoante as espécies e as raças. Num bovino europeu a vasodilatação origina uma diminuição de 70% do isolamento tissular, o qual está também dependente da espessura da camada de gordura subcutânea, que exibe uma maior resistência ao fluxo de calor e que apresenta em média um valor de $0,214 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ (Silva, 2000).

Os comportamentos adaptativos (ex. a procura de ambientes mais frescos e mais protegidos da radiação solar, a diminuição da actividade física e eventualmente a procura de água para banhos) facilitam a termólise. Esta forma conjugada de regulação térmica pode resumir-se a dois aspectos essenciais: a manutenção de um gradiente térmico mais favorável para facilitar a saída do calor e a diminuição do isolamento térmico para aumentar mais a velocidade do fluxo de calor.

A maior facilidade em perder calor sensível está associada à condutância térmica intrínseca a cada indivíduo. O isolamento térmico entre o núcleo do corpo e o ambiente é constituído basicamente por duas componentes que funcionam em série e de forma aditiva: o isolamento tissular e o isolamento externo.

Nos bovinos o isolamento (tissular e externo) varia com a raça. Nas raças de bovinos tropicais, principalmente zebuínas, a velocidade de escoamento do fluxo de calor para a periferia é normalmente superior. Em bovinos de clima temperado (*Bos taurus*), a vasodilatação periférica permite que o isolamento térmico atinja valores de $0,040 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$, enquanto que no caso de zebuínos esse valor apresenta normalmente uma média $0,020 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ (Finch, 1985).

Mais complexas são as questões subjacentes ao isolamento externo dos animais. O isolamento da pelagem é aditivo relativamente ao isolamento tissular. O isolamento é devido ao aprisionamento do ar entre os pelos que cria uma camada de ar isolante junto à superfície da pele. Contudo, as pelagens apresentam valores inferiores ao isolamento providenciado pelo ar parado (Cossins e Bowler, 1987). Pode relacionar-se o fluxo de calor que flui através da pelagem através do gradiente térmico entre a T_{pl} e a T_{ar} :

$$H_e = h_e \cdot (T_{pl} - T_{ar}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

em que (h_e) é o coeficiente de condutividade térmica da pelagem (Jessen, 2001). A sua determinação é bastante complexa. O isolamento conferido por uma qualquer pelagem está sempre relacionado com o coeficiente de condutividade do ar aprisionado no seu interior. Ou seja, ao manter por mais tempo o mesmo volume de ar junto à pele, em que as trocas se fazem essencialmente por condução, reduz-se o gradiente térmico instalado e por conseguinte a velocidade do fluxo de calor (Jessen, 2001).

O isolamento térmico apresenta assim uma relação muito próxima com a espessura da pelagem e com a velocidade do ar. Esta relação pode ser expressa pela equação:

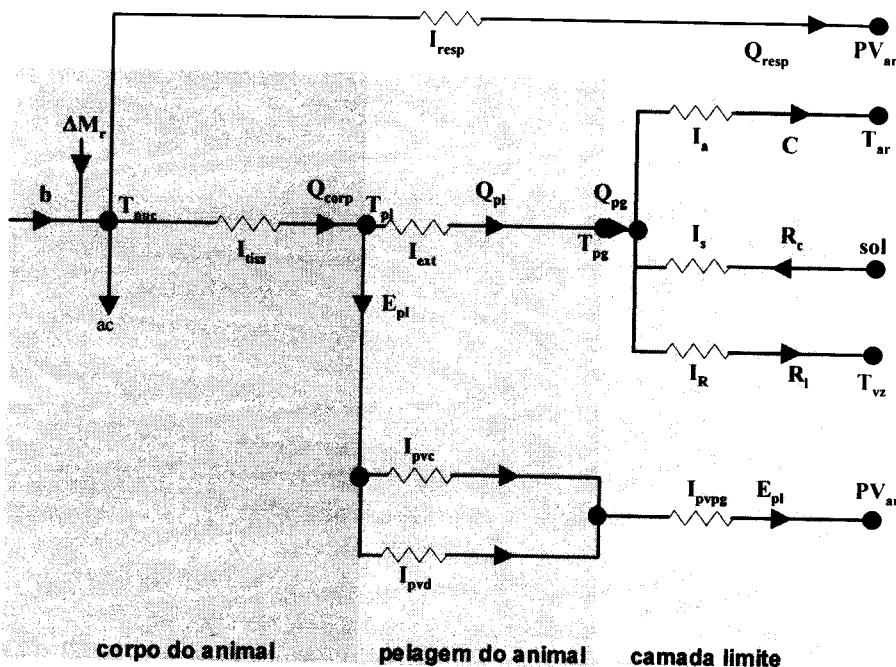
$$I_{plg} = 11,78 + (0,24 \cdot l) - (0,49 \cdot v^{0,5}) \quad [\text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$$

em que l corresponde à espessura da pelagem [mm] e v a velocidade do vento [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] (Udo, 1978). Esta equação apenas considera indirectamente a existência de vários tipos de pelagens, não contemplando pelagens com espessuras semelhantes mas com densidade ou graus de agregação e medulação diferentes.

Na presença da radiação solar os fluxos de calor reorganizam-se de acordo com a presença de duas fontes de energia (metabolismo e radiação solar), originando fluxos de calor dentro da pelagem de magnitudes e sentidos diferentes ao longo do dia. As interacções que se estabelecem nas permutas de calor por radiação, convecção e condução dificultam a quantificação do calor associado a cada uma das vias. A Fig. 5.1. evidencia as permutas de calor entre o animal e o ambiente, salientando as várias

resistências térmicas associadas ao processo.

Qualquer que seja o tipo de clima, a pelagem do animal assume uma grande importância nas trocas térmicas com o ambiente. Nas regiões polares e nos invernos nas regiões mais temperadas, a pelagem assume a função predominante de isolante térmico, de tal forma que a temperatura da pele (principalmente aquela associada ao tronco) é relativamente independente da temperatura do ar. Nestes casos, a espessura da gordura subcutânea (principalmente nos mamíferos aquáticos) providencia um acréscimo importante no isolamento global do núcleo do corpo.



Adaptado de McGovern e Bruce, 2000

Em que b designa o calor metabólico produzido; ΔM_r o acréscimo de calor produzido devido à polipneia; ac o armazenamento de calor; Q_{corp} , Q_{pl} , Q_{pg} , Q_{resp} representam respectivamente os fluxos de calor do núcleo do corpo, da pele para a pelagem, da pelagem para o ar e proveniente do sistema respiratório; T_{nuc} , T_{pl} , T_{pg} , T_{ar} representam respectivamente as temperaturas do núcleo do corpo, da pele, da pelagem e do ar; T_{vz} representa a temperatura radiante da circunvizinhança; I_{tiss} , I_{ext} e I_{resp} referem respectivamente as resistências térmicas aos fluxos de calor pelo corpo, pela pelagem e pelo tracto respiratório; I_{pvc} e I_{pvd} representa respectivamente a resistência à transferência de massa de vapor da pelagem para o ar envolvente; I_a , I_s e I_R reporta respectivamente a resistência ao fluxo de calor da camada limite, a resistência às radiações de ondas curtas provenientes do sol e às de ondas longas; E_{pl} representa o calor latente perdido pela pele e radiação de ondas longas.

Fig. 5.1. Resistências térmicas e fluxos de calor que se estabelecem entre o animal e o meio exterior

Nas regiões tropicais e em alguns verões das regiões temperadas, a pelagem apresenta funções ligadas à protecção mecânica da epiderme, ao mimetismo e à protecção contra a radiação solar (Silva, 2000). A pelagem exerce um marcado efeito protector contra a radiação solar. Em muitas partes do mundo, em dias de sol, a energia recebida pelos animais através da radiação ultrapassa em muito o calor metabólico produzido. A possibilidade da pelagem poder impedir a entrada de uma parte dessa energia no animal, torna-se benéfico pela menor necessidade de recurso às vias de termólise evaporativa e pela menor probabilidade de esgotamento dessas vias (Jessen, 2001).

A importância da pelagem na tolerância ao calor foi estudada inicialmente por Bonsma (1949), Dowling (1959) e por Turner e Schleger (1960). As relações entre a pelagem e a adaptabilidade ao ambiente térmico podem ser divididas em várias vertentes: o isolamento térmico (que reporta aos efeitos na termólise por condução convecção e radiação); a eficiência da termólise evaporativa (associada às

diferenças interpostas pelas pelagens na transferência do calor latente de vaporização da epiderme para a atmosfera); os atributos associados à termorregulação (que englobam as relações entre as características da pelagem e o funcionamento da glândulas sudoríparas) e os atributos indirectamente associados à termorregulação mas com implicações produtivas (ganho de peso e taxa de fertilidade etc.) (Finch *et al.*, 1984; Gilbert e Bailey, 1991).

As pelagens podem apresentar características muito diferentes, que podem originar diferenças consideráveis nos balanços térmicos dos animais. As características e propriedades inerentes a cada pelagem decorrem das características dos pêlos que as compõem. Estes variam de acordo com a região do corpo e com estação do ano. São várias as características dos pêlos que interferem na velocidade do fluxo de calor ao longo das pelagens: o comprimento, diâmetro e ângulo de inclinação, densidade numérica ($pêlos.cm^{-2}$), densidade de massa ($mg.cm^{-2}$ ou $mg.cm^{-3}$), grau de pigmentação e grau de medulação (Udo, 1978; Silva, 2000).

De acordo com o tipo de pêlos presentes e com o grau de arranjo que estabelecem, as pelagens dos herbívoros podem agrupar-se em três grandes grupos: as soltas (longas e pouco densas), as longas e fortemente agregadas e as curtas e acamadas (mais comuns em muitos bovídeos e antílopes). Neste último grupo as diferenças são bastante significativas. Para sistematizar estas diferenças Bonsma (1949) sugeriu “coat scores”, em que o menor índice correspondia a pêlos curtos, grossos e acamados (pelagens lisas e pouco espessas) e o índice maior correspondia a pêlos longos, finos e com elevado ângulo de inserção (pelagens mais espessas e lanosas).

As características das pelagens variam ao longo do ano, principalmente na pigmentação e espessura (com variações que podem atingir mais de 2cm) (Udo, 1978). As pelagens no período de inverno apresentam menor condutância, devido ao maior comprimento, menor diâmetro e menor grau de medulação dos pêlos. O maior ângulo de inserção origina também pelagens mais espessas que dificultam a penetração do vento no seu interior, reforçando a resistência térmica à saída do fluxo de calor.

O aumento do fotoperíodo desencadeia o início das alterações nas características das pelagens, de forma a fazer face às altas temperaturas estivais, onde prevalecem pêlos de menor dimensão, diâmetro superior e maioritariamente medulados. O menor ângulo de inserção proporciona pelagens mais acamadas, menos espessas e mais lisas.

A quantidade de melanina na epiderme é superior nos meses de maior calor. A pigmentação negra observada nos animais presentes nos trópicos em conjunto com pelagens mais acamadas, são importantes atributos na adaptação a condições de elevada radiação solar, uma vez que possibilitam uma protecção eficiente contra a penetração dos raios ultravioletas, os quais podem originar graves implicações na saúde e na produtividade.

Relativamente à pigmentação dos pêlos existe alguma controvérsia. Udo (1978) refere diminuições no teor em melanina durante os meses mais quentes, enquanto Silva *et al.* (1988) constataram diminuições. No primeiro caso, o autor justifica os resultados observados pela maior reflectividade à radiação visível, enquanto que no segundo caso os autores justificam pela maior protecção contra a penetração dos raios ultravioletas.

As alterações sazonais nas características da pelagem resultam de uma complexa diversidade de factores ambientais (fotoperíodo, temperatura, radiação e humidade). O facto das alterações estarem sob marcada influência do fotoperíodo, não exclui o papel preponderante da temperatura do ar no reforço do

processo (Berman e Volcani, 1961). A influência da temperatura é mediada pela glândula tiroide num processo análogo e concomitante com a aclimatação.

A energia térmica pode ser transferida através da pelagem por várias vias: ao longo da superfície dos pêlos, através do ar que envolve cada pelo e de um pelo ao outro nos pontos em que se tocam. O fluxo de energia térmica transferido por condução é directamente proporcional à fracção da área e do volume da pelagem efectivamente ocupada pelos pêlos (Cena e Monteith, 1975b). A diminuição da densidade pilosa por unidade de volume origina uma diminuição do contacto entre os pêlos, reduzindo a importância da condução através ou ao longo dos pêlos e por consequência no processo de transferência térmica inerente (Silva, 2000).

A densidade pilosa e o comprimento e diâmetro dos pêlos interagem de forma diversa permitindo pelagens com diferentes graus de isolamento. Mamíferos com pelagens menos densas são mais susceptíveis à perda de calor por via convectiva. O vento tende a penetrar mais profundamente na estrutura da pelagem, substituindo com mais facilidade o ar junto à superfície da pele. Contrariamente, fibras mais finas e compridas formam um ambiente bastante mais protegido, originando uma maior estabilidade do ar que permanece aprisionado entre as fibras (Yeates, 1977). Daí que a resistência térmica da pelagem pode aumentar consideravelmente pela presença de fibras finas e lanosas, mesmo que entremeadas com outras mais grossas e longas (Gebremedhin *et al.*, 1983).

Em condições de elevada temperatura, em que se pretende o aumento da condutância, quanto maior for o número de pêlos por unidade de área e quanto mais grossos forem esses pêlos, tanto maior será a energia térmica susceptível de ser conduzida pela pelagem (Gebremedhin, 1985; Finch, 1986). Os pêlos mais inclinados, mais curtos e mais grossos originam uma maior contiguidade, aumentando a frequência de contacto com redução do volume de ar entre eles. Indirectamente originam uma menor espessura da pelagem, diminuindo a distância entre a superfície da pele e a camada limite da pelagem.

Nos animais ao ar livre, a resistência térmica da pelagem diminui com o aumento da velocidade do vento. A convecção forçada pode ser factor importante na transferência térmica dentro da pelagem, o que está dependente da velocidade do vento e do posicionamento do corpo do animal face à direcção do vento (Cena e Monteith, 1975b). Silva (2000) refere que bovinos com espessura de pelagem superior a 10mm começam a perder parte do seu isolamento quando sujeitos a ventos com velocidades superiores a $4,7 \text{ m.s}^{-1}$. Numa pelagem acamada com 12 mm de espessura o valor do isolamento observado foi de $5,5 \text{ Mcal}^{-1}.24\text{h}^{-1}.^{\circ}\text{C}$ enquanto que com espessura de 23mm, o isolamento aumentou para $7,7 \text{ Mcal}^{-1}.24\text{h}^{-1}.^{\circ}\text{C}$ (Udo, 1978). O efeito do vento torna-se mais evidente quando ocorre no sentido do contrapélo (Cena e Monteith, 1975b).

O efeito da pelagem na condutância dos animais é normalmente associada a fluxos de calor centrífugos. No entanto, em regiões onde os níveis de radiação solar são elevados, a magnitude dos fluxos de calor centípetos determinam reacções termorreguladoras exuberantes, consequência de níveis elevados de armazenamento de calor. Os ciclos da temperatura rectal em situação de termoneutralidade apresentam normalmente amplitudes diárias inferiores a $0,4^{\circ}\text{C}$. Todavia, perante condições de radiação solar directa as amplitudes da temperatura rectal podem exceder $1,2^{\circ}\text{C}$ (Lefcourt e Adams, 1996; Hahn, 1999). Os ritmos de aquisição e dissipação de calor, bem como as suas magnitudes, podem apresentar grande variabilidade entre as raças. A máxima temperatura rectal atingida durante o dia raramente coincide com os picos da temperatura radiante, sendo observados diferimentos temporais variáveis que

podem chegar a várias horas (Hahn, 1999). Os factores que mais condicionam a magnitude deste arrastamento (*zeitgeber*) são a massa corporal, as características do interface com o ambiente (designadamente a pelagem), o *set-point* hipotalâmico e o limiar de activação dos mecanismos de termólise latente (Bligh e Harthoorn, 1965; Bitman *et al.*, 1984; Hahn, 1989; Bligh, 1998).

A transmissão da radiação através da pelagem pode interferir de forma significativa no balanço térmico dos animais. O fluxo de calor resultante do calor metabólico e do calor proveniente do ambiente é frequentemente favorável ao segundo, implicando necessariamente o recurso à termólise latente (Cena, 1974). Em ambientes com cargas térmicas radiantes muito elevadas os animais de menor massa têm de exibir atitudes comportamentais que evitem uma exposição excessiva à radiação solar. Nos animais de maior massa, em que o elefante é o exemplo mais ilucidativo, devido à sua superfície específica, o fluxo de radiação por unidade de massa corporal é menor, o que aliado a uma maior inércia térmica permite uma maior versatilidade funcional onde o armazenamento de calor desempenha um papel fulcral (Jessen, 2001).

A velocidade do fluxo de calor centrípeta, e por consequência a quantidade de calor recebida na superfície da pele está dependente do tipo e da cor da pelagem. Durante algum tempo supôs-se que a absorção da radiação ocorria apenas na superfície da pelagem. No entanto, Kovarik (1964) citado por Gebremedhin (1985), sugeriu que a radiação solar poderia ser transmitida e absorvida no interior das pelagens e que essa transmissão era mais acentuada nas pelagens de coloração mais clara. Estes resultados foram posteriormente confirmados por Hutchinson e Brown (1969).

A radiação solar incidente na pelagem pode ser reflectida para a atmosfera, absorvida no seu interior e/ou transmitida ao longo desta até chegar à superfície da pele. Quando os raios solares penetram na pelagem a probabilidade de encontrarem um pelo ao longo da espessura da pelagem depende do diâmetro e comprimento dos pelos e da espessura da pelagem (Cena 1974). Quando a radiação atinge o pelo, uma fracção ρ é reflectida e uma fracção α é absorvida. Esta absorção é determinada pelo grau de pigmentação e pela estrutura do pelo. Uma fracção variável τ é transmitida para a camada limite adjacente mais próxima da pele.

A importância da pigmentação dos pelos e das pelagens nas trocas térmicas radiantes tem sido objecto de vários estudos (Dowling, 1959; Schleger, 1967; Cena, 1974; Davis e Birkebak, 1974; Finch *et al.*, 1984; Gebremedhin, 1985; Hansen, 1990). As vantagens adaptativas nas pelagens claras dos animais presentes em ambientes tropicais foram evidenciadas por Riemerschmidt (1943) citados por Hutchinson e Brown (1969). Stewart (1953) citado por Silva (2000), estudando amostras de pelagens de bovinos, sob comprimentos de onda de 0,29 a 1,2 μ , determinou os coeficientes de absorção através da fórmula:

$$h_\alpha = 1 - R \cdot [100 \cdot (1200 - 290)]^{-1}$$

em que R é a fracção da radiação reflectida nos diferentes comprimentos de onda. Este estudo foi realizado com amostras de pelos cortados e comprimidos sobre uma superfície plana. Como a emissividade depende não apenas da cor mas também da sua conformação estrutural, os resultados são susceptíveis de apresentar algumas discrepâncias face aos correspondentes obtidos em ambiente natural, e por isso a equação sugerida reflecte alguma imprecisão.

As colorações das pelagens exibidas pelos mamíferos têm sido alvo de várias discussões e especulações entre as várias áreas da biologia. O assunto é bastante polémico, particularmente quando

são considerados aspectos nem sempre relacionados: as estratégias predatórias ou de mimetismo e da fisiologia adaptativa (Louw, 1993). O efeito da selecção natural para a cor é um processo bastante complexo. O padrão de cores dos animais selvagens africanos é bastante semelhante. Com algumas excepções, a pelagem é normalmente de coloração parda, beije ou castanha clara, com algum brilho, sendo provavelmente um compromisso entre uma maior reflexão da radiação incidente, eventualmente uma menor transmissão e uma boa camuflagem (Louw, 1993).

A cor da pelagem afecta a reflexão e a absorção da radiação das ondas curtas (a grande maioria na faixa do visível) assumindo progressivamente menos importância a partir do infravermelho próximo. Pelagens mais claras resultam em albedos superiores e as peles mais escuras absorvem com menos efeitos nefastos a radiação ultravioleta, prevenindo danos nos tecidos (Wilson, 1989). É por vezes referido que os animais de pelagem mais escura estão mais sujeitos ao estresse térmico que os de pelagem clara. Uma pelagem de cor mais escura apresenta maior absorvidade e portanto armazena maior quantidade de energia térmica. Os resultados demonstraram que numa faixa de radiação de ondas curtas (0,4 a 0,78 μm desde o ultra-violeta até ao infravermelho) as pelagens brancas, densas e acamadas foram as mais reflectoras a esta gama de radiação, com resultados superiores quando comparadas com pelagens brancas mas menos densas e mais eretas, confirmando também a importância do tipo da pelagem no balanço térmico.

A quantidade da radiação de ondas curtas que é efectivamente absorvida na epiderme, depende essencialmente da reflectividade da superfície externa da pelagem à radiação desse comprimento de onda e da transmissividade da pelagem a essa radiação. Considerando que essa reflectividade é função das características da pelagem e da epiderme, obtém-se uma reflectividade efectiva global dada pela equação:

$$\rho^* = \frac{[\rho_{plg}(1 - \rho_{pl}) - \alpha_{plg} \cdot \rho_{pl}] \cdot \operatorname{senh}x + \kappa \rho_{pl} \cdot \cosh x}{[\rho_{plg}(1 - \rho_{pl}) + \alpha_{plg}] \cdot \operatorname{senh}x + \kappa \cdot \cosh x}$$

em que ρ_{pg} é a reflectividade da superfície externa da pelagem, ρ_{pl} é a reflectividade da epiderme α_s , a absorvidade da superfície da pelagem, $\operatorname{senh}x=0,5 \cdot (e^x - e^{-x})$ seno hiperbólico de x , $\cosh x=0,5 \cdot (e^x + e^{-x})$ o cosseno hiperbólico de x , $\kappa = [\alpha_{plg}^2 + 2 \cdot \rho_{plg} \cdot \alpha_{plg}]^{0,5}$, E espessura da pelagem, C comprimento médio dos pelos, d o diâmetro médio dos pelos, n número de pelos/m², $x = \kappa \cdot p \cdot E$ e $p = n \cdot d \{ \tan[\arccos(E/C)] \}$.

O maior grau de oleosidade da pelagem, ao conferir-lhe maior brilho, repercute-se no aumento dos índices de reflexão e numa provável diminuição do valor da emissividade. As pelagens negras tendem a absorver mais radiação na faixa da radiação visível, mas tendem a apresentar menores diferenças significativas em função da sua morfologia (Gebremedhin *et al.*, 1983).

Um factor relevante no balanço térmico dos animais é o grau de penetração da radiação solar no interior das pelagens. O tipo de pelagem interage com a coloração de uma forma não linear. A estrutura da pelagem afecta o local de absorção da radiação e portanto condiciona o seu grau de penetração no seu interior. O grau de penetração é superior nas pelagens mais claras relativamente às mais escuras e maior nas pelagens menos agregadas relativamente às mais densas e acamadas. A conjugação destas diferentes características pode originar diferenças nas temperaturas da superfície das pelagens e consequentemente na radiação recebida na pele (Hutchinson e Brown, 1969; Finch *et al.*, 1984; Gebremedhin e Hillman, 1993).

A combinação entre reflectividade e transmissividade em cada indivíduo confere uma barreira variável à chegada da energia térmica na superfície da pele. Este processo é todavia independente de qualquer processo termorregulador (Finch, 1972). Segundo Cena e Monteith (1975a) a transmissividade efectiva pode ser calculada a partir da equação:

$$\tau^* = \kappa / [\rho_{plg} (1 - \rho_{pl}) + \alpha_{plg}] \cdot \operatorname{senh} x + \kappa \cdot \cosh x$$

A absorvividade pode ser estimada pela equação:

$$\alpha^* = 1 - \rho^* - \tau^* \cdot (1 - \rho_{pl})$$

Resulta assim que a radiação total de ondas curtas absorvida e transmitida para epiderme pode ser estimada segundo a equação:

$$R = R_{ci} \cdot \tau^* (1 - \rho_{pl}) \quad [W \cdot m^{-2}]$$

em que R_{ci} é a radiação de ondas curtas incidente no animal.

A relação inversa entre a absorvividade e a transmissividade implica frequentemente que a camada limite das pelagens mais escuras apresentem maiores temperaturas superficiais. Nestes casos os processos de re-radiação apresentam maior relevância fazendo com que os animais dissipem proporcionalmente maior quantidade de calor por radiação infravermelha.

Os fenómenos convectivos vão também interagir de forma diferenciada consoante o tipo de pelagem. Nas pelagens mais escuras verifica-se normalmente um gradiente térmico mais acentuado, devido à maior temperatura da camada exterior da pelagem. Como a camada da pelagem mais aquecida é aquela que está mais próxima do exterior, verifica-se uma maior acção do vento na remoção do ar mais aquecido favorecendo por isso as perdas por convecção (Rosenberg *et al.*, 1983).

Em estudos com a raça Frísia (pelagens espessas do tipo lanoso) as manchas pretas apresentavam junto à face exterior temperaturas bastantes mais elevadas do que aquelas que ocorriam nas manchas brancas. Uma vez que a maior parte da radiação é absorvida junto à superfície externa, o aquecimento profundo da pelagem foi mais reduzido devido às perdas por convecção e por re-radiação. Por outro lado, as temperaturas mais baixas das manchas brancas são também mais uniformes ao longo de toda a espessura da pelagem devido à maior transmissividade da radiação (Gebremedhin *et al.*, 1983). Assim, uma pelagem clara, não obstante ser mais reflectora, para poder proporcionar um balanço térmico mais vantajoso deve apresentar elevada densidade, com pêlos posicionados em ângulo baixo sobre a epiderme, de modo a minimizar a transmissão de radiação de ondas curtas. A epiderme deve ter coloração escura, que no entanto deixa de ser imperativo no caso da pelagem apresentar cor escura. A integração destas características determinou que os animais das raças nativas dos trópicos apresentem preferencialmente epiderme pigmentada sob uma pelagem clara, pouco espessa, com elevada densidade pilosa e com pêlos grossos e bem assentes (Silva, 1998).

A termólise latente é também influenciada pela presença da radiação solar. A radiação solar parece estimular directamente o funcionamento das glândulas sudoríparas, devido ao aquecimento localizado da superfície da pele (Cena e Monteith, 1975c). Em condições semelhantes de temperatura radiante, os animais em câmara climática tendem a apresentar menores valores absolutos de taxas de sudação e dinâmicas algo diferentes (Finch, 1986). Nos casos em que as taxas de sudação são superiores em câmaras climáticas, a justificação parece estar associada às elevadas pressões de vapor muito próximas da pressão de saturação. A menor eficiência da vaporização ao nível da epiderme parece

condicionar uma sobre-estimulação das glândulas sudoríparas, visando o restabelecimento dos gradientes de pressão de vapor mais adequados para permitir uma evaporação suficiente (Murray, 1966; Finch *et al.*, 1982).

No processo de sudação existem dois tipos de resistências que interferem na sua eficiência: a associada à pelagem e a associada ao ambiente externo (McArthur, 1981). A difusão de vapor de água pela pelagem é facilitada preferencialmente pela convecção livre, induzida essencialmente pelo gradiente térmico. Logo, a resistência interposta pela pelagem depende das diferenças de temperaturas entre a pele e a pelagem mas também do respectivo gradiente de pressão de vapor (Cena e Monteith, 1975c; McArthur, 1981). Considera-se normalmente que o suor produzido se evapora na superfície da pele e que atravessa a pelagem sob a forma de vapor. Ao longo da espessura da pelagem constata-se normalmente um maior gradiente de pressão de vapor junto à epiderme, sendo por vezes notória a presença de água livre (Cena e Monteith, 1975c). Com efeito, o suor líquido pode também derivar da epiderme para os pêlos por capilaridade e ser evaporado aí. Essa evaporação é menos proveitosa para o animal que aquela que ocorre na epiderme e pode trazer desvantagens acrescidas (Silva, 2000). O aumento do teor de humidade dentro da pelagem até à camada limite, vai originar uma diminuição do gradiente da pressão de vapor conduzindo ao aumento da resistência à passagem do suor do estado líquido para o estado gasoso (Finch, 1986). Esta maior resistência aparece com mais frequência associada aos *Bos taurus* e é quase inexistente nos zebus, derivando directamente do tipo e espessura da pelagem (Finch, 1986). Os *Bos taurus* são animais que, mesmo aclimatados, apresentam normalmente uma espessura de pelagem superior à dos zebus embora existam algumas raças africanas cujas pelagens não diferem muito da dos zebus (Amakiri e Hill, 1975; Udo, 1978; Finch, 1986).

A interacção entre a radiação solar, o tipo e a cor de pelagem também origina diferenças acentuadas na eficiência de evaporação. Em pelagens claras e espessas com elevada transmissividade verifica-se com frequência uma homogeneidade térmica no interior da pelagem. O baixo gradiente térmico ao longo de toda a espessura da pelagem desfavorece a convecção livre, reforçando a tendência para um incremento da pressão de vapor intra-pelagem. Nas pelagens mais escuras, devido à maior absorção da radiação na periferia da pelagem, existe uma maior probabilidade da ocorrência de gradientes térmicos e de pressão de vapor internos mais favoráveis à convecção e por conseguinte à renovação do ar. Mais uma vez a penetração do vento na pelagem é factor essencial para o estabelecimento de diferentes fluxos de calor, valorizando neste caso o aumento da velocidade de vaporização (McArthur, 1981).

As pelagens pouco espessas, e em particular as pelagens dos zebuínos, permitem supor maior eficiência na evaporação do suor produzido. A distância a ser percorrida pelo vapor de água é menor e a probabilidade de ocorrerem gradientes térmico e de pressão de vapor mais favoráveis é superior. Os pêlos medulados e mais grossos permitem um maior movimento do ar junto à superfície da pele, contribuindo também para um aumento da convecção e consequentemente para a maior velocidade de evaporação do fluido (Udo, 1978).

Algumas singularidades nas características das pelagens ocorrem em animais que vivem em ambientes com elevado grau de aridez. As estratégias termorreguladoras envolvidas visam paralelamente a manutenção de um balanço térmico adequado à sobrevivência e uma economia hídrica que previna a desidratação (Schmidt-Nielsen, 1997). Uma das chaves para o bom desempenho termorregulador destes

animais está em boa parte ligado ao grau de isolamento propiciado pela pelagem (Louw, 1993; Lovegrove, 1999). Agregando a questão da economia hídrica (essencial nestas condições climáticas) podem ocorrer vantagens adicionais quando as pelagens se apresentam menos lisas, com maior profundidade e mescladas com pêlos mais escuros. Desta forma, a energia absorvida pela pelagem pode ser mais facilmente removida por convecção e por re-radiação infravermelha, reduzindo a quantidade transmitida (Lee, 1972; Wilson, 1989). As colorações das pelagens exibidas pelos mamíferos nestes climas não apresentam um padrão definido. Muitos animais apresentam pelagens com várias tonalidades, algumas delas bastante escuras. Não existem ainda respostas definitivas para tal ocorrência e quais as vantagens comparativas face a outros padrões. As colorações mais escuras não são necessariamente piores e podem até apresentar algumas vantagens em determinadas condições.

Comparando com o outro extremo climático, nos ursos polares, os pêlos brancos e quase transparentes funcionam como fibras ópticas que conduzem o calor para a pele que é bastante pigmentada, aumentando a penetração da radiação e assim aumentando a aquisição de calor na pele (Louw, 1993).

Nas regiões tropicais não surpreende que a cor e o tipo de pelagem dos bovinos estejam correlacionados com a temperatura rectal e eventualmente com a produtividade. Em muito estudos são referidos que os animais de pelagem mais clara apresentam melhores desempenhos produtivos que os animais mais escuros (Hansen, 1990). No entanto, a interacção significativa entre as raças, tipo de pelagem e coloração sugere que em determinadas combinações tal não se verifique (Finch *et al.*, 1984). Em zebus, de um mesmo genótipo e com pelagem uniforme, a coloração determinou um efeito significativo no balanço térmico, embora sem diferenças na produtividade (Gatenby, 1979 citado por Finch *et al.* 1984). Em estudo realizado com animais das raças Brahman e Shorthorn, com várias colorações e tipos de pelagens, constatou-se que os animais com pelagens mais escuras apresentavam temperaturas da pelagem e armazenamentos de calor superiores. Não obstante, a temperatura rectal só apresentou valores significativamente superiores nos Shorthorn mais escuros. Na verdade, uma pelagem mais profunda e lanosa parece condicionar mais o desempenho produtivo quando está associada a pelagens mais escuras (Finch *et al.*, 1984).

Todavia, Silva (2000) refere estudos em que são as vacas da raça Frísia com maior proporção de manchas negras, que tendem a apresentar maiores períodos de pastoreio durante as horas mais quentes do dia, com reflexos positivos na produtividade. Tal parece sugerir uma influência marcante da menor transmissividade das pelagens negras sobre o calor adquirido.

Avaliando os desempenhos produtivos dos animais nos trópicos, relativamente à coloração e tipo de pelagem, parece constatar-se que o tipo de pelagem tende a condicionar mais a produtividade dos animais que a coloração (Finch *et al.*, 1984). Em testes de tolerância ao calor realizados no Brasil, com animais *Bos taurus*, os resultados parecem confirmar a maior importância do tipo e da estrutura da pelagem relativamente à sua coloração. Na verdade, animais da raça Simental com pelagens mais claras e mais espessas apresentaram resultados inferiores a outros com pelagens mais escuras e mais lisas e com menor espessura (Titto *et al.*, 2001).

Pelagens lisas, brilhantes e densas, com pêlos medulados e acamadas, parecem estar normalmente associadas a menores temperaturas rectais e a superiores taxas de crescimento (Silva, 2000). Estas condições estão normalmente associadas a bovinos zebuínos que apresentam também valores

elevados de sudação. Nestes animais, as diferenças de coloração, embora possam originar balanços térmicos diferentes, raramente condicionam o desempenho produtivo devido à acção compensadora da taxa de sudação (Finch *et al.*, 1984). Nas raças taurinas as diferentes combinações entre a cor e o tipo de pelagem, conjuntamente com o volume e a eficiência da evaporação do suor, podem condicionar diferentes níveis de armazenamento de calor, os quais são susceptíveis de interferir com a dinâmica da ingestão de alimento e consequentemente com a produtividade (Finch *et al.*, 1984; Hansen, 1990).

A planificação desta experiência teve como objectivo avaliar comparativamente a forma como cada raça integra e responde à radiação solar directa. Medidas do albedo das pelagens e do balanço global da radiação são confrontadas com as respostas fisiológicas dos animais. A intensidade dos mecanismos de termólise evaporativa são relacionados com as variações da temperatura rectal ao longo do dia. Os níveis de armazenamento de calor e o ritmo com que ocorrem são comparados entre as raças relativamente ao ambiente envolvente. As condutâncias dos animais, nas suas componentes tissular e externa, foram avaliadas de acordo com níveis individuais de armazenamento de calor. Tendo em consideração que vários factores podem condicionar o funcionamento das vias de termólise, foram efectuados testes individuais visando quantificar a velocidade de aquisição de calor ao sol, comparando-a posteriormente com a velocidade de dissipação à sombra.

5.2. Concepção e organização geral da experiência

Os objectivos deste estudo determinaram a planificação de 3 experiências:

i) A experiência A visou a quantificação das reacções dos animais perante condições de radiação solar directa, designadamente a intensidade de funcionamento das vias de termólise latente e as variações nos armazenamentos de calor de acordo com os diferentes balanços térmicos; ii) A experiência B visou a quantificação da condutância de cada indivíduo perante níveis diferenciados de armazenamentos de calor. O cálculo da condutância de cada indivíduo integra a quantificação dos fluxos de calor provenientes do núcleo do corpo e a medição dos diferentes coeficientes de resistência térmica tissular e externa; iii) A experiência C visou a comparação das velocidades de aquisição e dissipação de calor mediante colocação alternada e sequencial dos animais sob condições de radiação solar directa e sombreamento. Esta comparação baseou-se nas alterações das temperaturas rectais e dos respectivos armazenamentos de calor.

Durante todo o período da experiência as variáveis meteorológicas foram monitorizadas através de sensores montados em estação meteorológica Campbell Scientific®. Os elementos recolhidos, com periodicidade horária, foram a temperatura do ar (Tar) e a humidade relativa (HR) (termohigrómetro marca Campbell Scientific® mod. 50Y), a temperatura do globo negro (T_{gn}) (globotermómetro marca LSI® mod. BST131) e a radiação solar directa (G_d) (piranómetro Campbell Scientific® mod. SPLite, com gama de comprimento de onda 0,4 a 1,1 μm).

5.3. Experiência A

5.3.1. Materiais e Métodos

5.3.1.1. Esquema experimental

A experiência foi realizada na Herdade da Mitra, pertencente à Universidade de Évora (latitude de 38° 32' 55'' N , longitude de 1° 0,7' 10'' O e altitude de 205m).

Foram utilizados as mesmas 22 novilhas referidas nas experiências anteriores (6 das raças Alentejana, Frísia e Mertolenga e 4 da raça Limousine), as quais apresentavam no início da experiência pesos médios de $443,6 \pm 21,2\text{kg}$, $400,0 \pm 18,7\text{kg}$, $315,1 \pm 35,0\text{kg}$ e $482,3 \pm 40,8\text{kg}$, respectivamente.

Desde a sua chegada em finais de Março até meados de Junho, altura em que se iniciou a experiência, os animais foram alojados em 4 parques colectivos, um para cada raça. Os parques dispunham de uma área de alimentação descoberta e uma área de repouso coberta. A dieta dos animais tanto no período que antecedeu a experiência como durante a experiência foi constituída por feno e água *ad libitum* e ração comercial distribuída por lote no montante de 36kg, 33kg, 29kg e 26kg por dia para as raças Alentejana, Frísia, Limousine e Mertolenga, respectivamente.

Durante o período experimental os animais permaneceram nos parques individuais que compõem o sistema de estabulação fixa. A estrutura descoberta era composta por 8 cubículos individuais com largura de 1,10m. Os animais permaneceram com o eixo antero-posterior na direcção sul/norte com a cabeça voltada para sul. A estrutura permitiu a alimentação e abeberamento individuais. Cada animal tinha à sua disposição um bloco de sais minerais.

Devido às limitações de espaço para colocar todos os animais em simultâneo, foi necessário realizar a experiência em dois períodos diferentes. Em cada período foram sorteados os animais, de forma que em cada grupo estivessem representadas todas as raças com dois elementos. No período seguinte, exceptuando na raça Limousine, foram sorteados 2 animais dos 4 remanescentes não utilizados no período anterior.

Cada período da experiência teve a duração de 5 dias, uma dia de adaptação ao novo ambiente e medições indicativas e quatro dias de medições efectivas. O feno foi consumido *ad libitum* e a ração foi distribuída individualmente às 8:00h e às 16:30h, nas quantidades de 6kg, 5,5kg, 7Kg e 4,3kg para as raças Alentejana, Frísia, Limousine e Mertolenga, respectivamente. Todavia, devido às características das instalações e dos equipamentos disponíveis não foi possível quantificar o alimento e a água ingeridas.

5.3.1.2. Medições nos Animais

De acordo com os objectivos desta experiência, foram realizadas diversas medições nos animais que permitissem relacionar os níveis de radiação solar com as variáveis fisiológicas e com intensidade das vias termolíticas. De acordo com a periodicidade descrita na Fig. 5.2., foram medidos os balanços unitários de ondas curtas (b_{oc}) e da radiação total (b_{rad}), a T_{rect} , a T_{pl} , a T_{pg} e a F_{resp} . Duas vezes por dia (às 13:00h e 15:00h) foram registadas as T_{sd} .

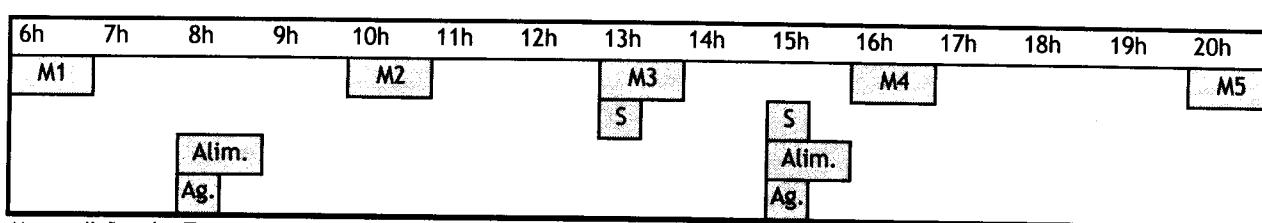
A radiação directa recebida pelo animal (R_{rec}) foi calculada considerando a radiação incidente registado pelo piranómetro colocado na estação meteorológica. Foram realizadas medições nos animais, designadamente o raio médio e o comprimento médio, de forma a adaptar a forma dos animais ao volume

de cilindros horizontais. A estimativa das áreas desses cilindros permitiu o cálculo dos factores de conformação (F_c) (Monteith e Unsworth, 1990):

$$F_c = (2\pi rh + 2\pi r^2)^{-1} \cdot [2rh \cos \sec \beta (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \theta)^{0.5} + \pi r^2 \cot g \beta \cos \theta]$$

Para o cálculo do ângulo de elevação solar nas horas em que se efectuaram as medições foi contemplado o ângulo de declinação solar (δ): $\delta = 23,45 \cdot \text{sen}[(360/365) \cdot (284 + k)]$ em que k é o número de ordem correspondente ao dia juliano. O ângulo de elevação foi calculado através da equação: $\text{sen}\beta = (\cos L) \cdot (\cos \delta) \cdot (\cos H) + (\text{sen}L) \cdot (\text{sen}\delta)$ em que L é a latitude e H é o ângulo horário $H = 15 \cdot (h - 12)$, todos expressos em valores decimais. Para o ângulo azimutal: $\text{sen}\alpha = -(\cos \delta) \cdot (\text{sen}H) / \cos \theta$.

A radiação directa recebida pelos animais foi então calculada pela equação: $R_{rec} = F_c \cdot G_d$.



M - medições das Trect, Tpl, Tpg, Fresp e bal.

S - medição a taxa de sudação

Alim - fornecimento de alimento

Ag - fornecimento de água

Fig. 5.2. Horário estabelecido para os diversos procedimentos diários

O balanço unitário de ondas curtas (b_{oc}) foi obtido com um albedómetro marca Schenk®, Mod. 8104, com medição numa gama de comprimento de onda de 0,3 a 3μm. As medições foram realizadas acoplando dois voltímetros marca Roline® Mod. M3660 ao albedómetro de forma a possibilitar a obtenção separada das radiações incidente e reflectida. As medições foram realizadas na face dorsal dos animais, em quatro pontos uniformemente distribuídos no plano antero-posterior, desde a região da cernelha até à garupa. O albedómetro foi posicionado horizontalmente relativamente à face dorsal dos animais a uma distância de cerca de 20cm. Esta distância foi calculada de acordo com as especificações técnicas do equipamento, de forma que as medições correspondessem apenas à fracção da radiação reflectida pela pelagem. Foram também realizadas medições nas áreas circunvizinhas aos animais para a quantificação da radiação solar reflectida do solo.

O cálculo do coeficiente de reflexão foi obtido através do quociente entre a radiação incidente e reflectida. Devido às alterações no comprimento de onda da radiação solar decorrente das alterações do ângulo de elevação, os valores médios dos coeficiente de reflexão de cada raça foram obtidos quando o sol se encontrava no seu zénite. O cálculo do coeficiente de reflexão da raça Frísia (devido à coloração da pelagem preta e branca) foi efectuado multiplicando os coeficientes de reflexão das manchas brancas e das manchas pretas pela proporção de cada uma delas na pelagem.

O balanço global unitário da radiação (b_{rad}) foi efectuado utilizando um pirradómetro marca Schenk®, Mod. 8111, com medições numa gama de comprimento de onda entre 0,3 e 60 μm. Os procedimentos das medições foram semelhantes aos referidos para o albedómetro. A impossibilidade de medir em simultâneo a temperatura do pirradiômetro e as medições das radiações incidentes e reflectidas impediu que se pudessem considerar separadamente os fluxos de radiação incidente e da reflectida,

funcionando assim como um radiômetro líquido.

A frequência respiratória (F_{resp}), a temperatura rectal (T_{rect}), a temperatura da pele (T_{pl}) e a temperatura da pelagem (T_{pg}) foram medidas de acordo com os mesmos procedimentos e instrumentos referidos nas experiências anteriores.

As variações dos armazenamento de calor foram calculados para cada hora utilizando a equação sugerida por McGovern e Bruce (2000):

$$\Delta T_{\text{rect}} = (3600 \cdot C_{\text{arm}} \cdot A) / (P_v \cdot c_b)$$

em que C_{arm} é calor armazenado [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$], A_{sup} a superfície do animal [m^2] calculada a partir da equação:

$$A_{\text{sup}} = 0,19 \cdot P_v^{0,556} \quad P_v \text{ a massa corporal [kg] e } c_b \text{ o calor específico do animal (3,4 KJ.kg}^{-1} \cdot {^\circ}\text{K}^{-1}\text{)} .$$

A taxa de sudação (T_{sd}) foi quantificada de acordo com os procedimentos descritos no capítulo anterior. Foram realizadas duas medições diárias em cada animal cada uma em triplicado. Simultaneamente às T_{sd} , foram registadas as correspondentes T_{rect} e os valores da Tar e da T_{gn} .

5.3.2. Análises Estatísticas

Esta experiência foi composta por dois períodos. Nestes períodos, embora as condições meteorológicas tivessem permanecido semelhantes, registaram-se diferenças nas amplitudes e nas variáveis meteorológicas. Associada a esta situação, foram utilizados em cada um dos períodos dois pares de animais diferentes, não havendo portanto informações de cada animal em períodos distintos. Essa circunstância determinou a necessidade de execução de uma análise de variância prévia que permitisse despistar eventuais resultados confundidos.

Elaborou-se uma análise de variância que pretendeu isolar os efeitos das variáveis meteorológicas dos dois períodos relativamente aos efeitos das reacções dos animais de cada raça e ainda a eventual existência de interacções significativas entre as Raças e Períodos e entre as Raças e os animais dentro dos períodos.

Assim, as variáveis dependentes, radiação efectivamente recebida (R_{rec}), balanço unitário de ondas curtas (b_{oc}), balanço unitário da radiação total (b_{rad}), temperatura rectal (T_{rect}), temperatura da pele (T_{pl}), temperatura da pelagem (T_{pg}), calor armazenado (C_{arm}) e frequência respiratória (F_{resp}), foram sujeitas a uma análise de variância tipo III, segundo o modelo matemático-estatístico (Modelo 1):

$$Y_{ijklm} = \mu + P_i + Rp(P)_{j(i)} + R_k + H_l + P.R_{ik} + P.H_{il} + Rp(P).R_{j(i)k} + Rp(P).H_{j(i)l} + R.H_{kl} + P.R.H_{ikl} + Rp(P).R.H_{j(i)kl} + \varepsilon_{ijklm}$$

em que μ é o valor médio da variável dependente, P_i , $Rp(P)_{j(i)}$, R_k e H_l são respectivamente os factores fixos Período, Repetição dentro do Período, Raça e Hora. $P.R_{ik}$, $P.H_{il}$, $Rp(P).R_{j(i)k}$, $Rp(P).H_{j(i)l}$, são respectivamente as interacções duplas entre Período e Raça, Período e Hora, Repetição dentro de Período e Raça e Repetição dentro de Período e Hora. $P.R.H_{ikl}$, $Rp(P).R.H_{j(i)kl}$ são respectivamente as interacções triplas entre Grupo, Raça e Hora e Repetição dentro dos grupos, Raça e Hora e ε_{ijklm} o erro aleatório ou valor residual de cada observação.

A inexistência de diferenças significativas nas várias variáveis dependentes entre os Períodos e principalmente nas interacções entre $P.R_{ik}$ e $Rp(P).R_{j(i)k}$ possibilitou o agrupamento dos animais num único período.

Para efeitos de comparações entre as raças e as horas, foram elaboradas novos modelos de análise

de variância. Estes modelos, mais simplificados, não implicaram um aumento do erro residual e permitiam uma interpretação mais rigorosa das interacções. A radiação efectivamente recebida por cada animal (R_{rec}) foi analisada de acordo com o modelo geral linear ortogonal, tipo III, segundo o modelo matemático-estatístico:

$$Y_{ijkm} = \mu + P_i + R_j + H_k + P.R_{ij} + P.H_{ik} + R.H_{jk} + P.R.H_{ijk} + \varepsilon_{ijkm}$$

em que Y_{ijk} é o valor observado em cada variável dependente, μ é o valor médio da variável dependente, P_i , R_j e H_k são respectivamente efeitos do factor fixo Período i-ésimo, o efeito do factor fixo Raça j-ésimo e o efeito fixo da Hora k-ésima. $P.R_{ij}$, $P.H_{ik}$, $P.R_{ij}$, $R.H_{jk}$ e $P.R.H_{ijk}$ são respectivamente as interacções duplas entre o Período e a Raça, Período e a Hora, Raça e a Hora e a interacção tripla, entre Período a Raça e a Hora e ε_{ijk} o erro aleatório ou valor residual de cada observação.

As restantes variáveis (b_{oc} , b_{rad} , T_{rect} , T_{pl} , T_{pg} e C_{arm}) foram analisadas por modelo geral linear contemplando dois factores fixos, a Raça e a Hora, de acordo com o seguinte modelo matemático-estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + H_j + R.H_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que Y_{ijkl} valor observado em cada variável dependente, μ é o valor médio da variável dependente, R_i e H_j são respectivamente efeito do factor fixo Raça i-ésima, o efeito do factor fixo Hora j-ésima ($j=5$), $R.H_{ij}$, é a interacção dupla entre Raça e Hora e ε erro aleatório ou valor residual de cada observação.

A taxa de sudação foi analisada segundo um modelo unifactorial, com a Raça como factor fixo, segundo o modelo matemático estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + \varepsilon_{ij}$$

em que Y_{il} valor observado na T_{sd} , μ é o valor médio da T_{sd} , R_i efeito do factor fixo Raça i-ésima e ε_{ij} erro aleatório ou valor residual de cada observação.

Para inferir das diferentes dinâmicas associadas às variáveis dependentes de cada raça ao longo dos dias foi efectuado um conjunto de análises de regressão polinomiais segundo o modelo (Underwood, 1998; Zar, 1974):

$$Y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + \dots + \nu x^n.$$

De acordo com modelo semelhante, algumas variáveis dependentes foram introduzidas no cálculo das equações de regressão como variáveis independentes, de forma a poderem ser estabelecidas diversas comparações entre raças. Os elementos foram analisados pelos programas de estatística SPSS 11.5 e NCSS 2000.

5.3.3. Resultados e Discussão

5.3.3.1. Condições Experimentais

Ao longo do período experimental não foi observado qualquer comportamento que pudesse indicar stress de manuseamento.

Os animais permaneceram tranquilos durante o período experimental, inclusivamente durante as medições realizadas. O alimento foi bem aceite por todos os animais.

As condições meteorológicas registadas nos dois períodos foram bastante semelhantes. Em ambos

os períodos os dias apresentaram céu limpo, vento fraco e ausência de chuva.

Os valores médios das Tar, humidade relativa (HR), radiação solar directa (G_d) e temperatura do globo negro (T_{gn}) registados em cada período estão representados nas Fig. 5.3., 5.4., 5.5., 5.6..

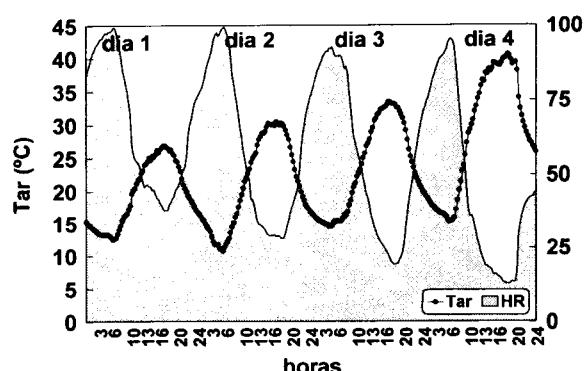


Fig. 5.3. Período 1 - Temperatura do ar e humidade relativa (x)

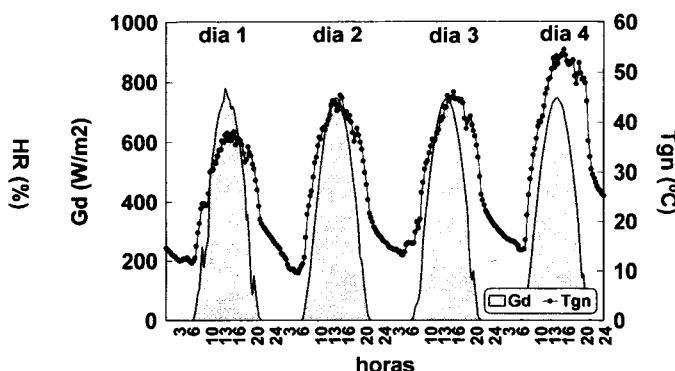


Fig. 5.4. Período 1 - Radiação solar e temperatura do globo negro (x)

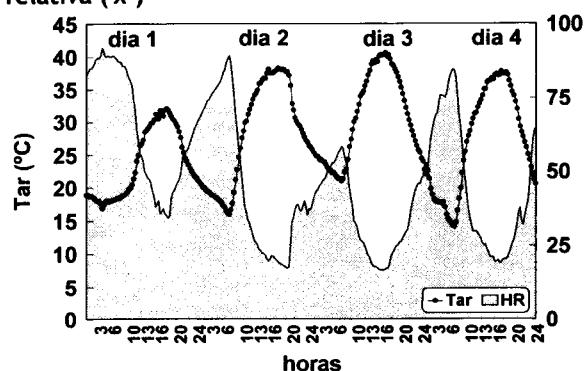


Fig. 5.5. Período 2 - Temperatura do ar e humidade relativa (x)

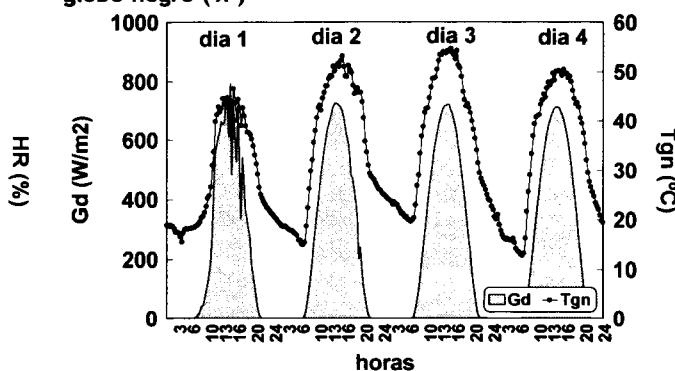


Fig. 5.6. Período 2 - Radiação solar e temperatura do globo negro (x)

A inclusão da T_{gn} visou conciliar numa variável os efeitos conjugados da temperatura do ar, radiação e convecção. A T_{gn} fornece uma estimativa dos efeitos combinados da energia térmica radiante procedente de todas as direcções do meio circundante e do efeito do vento nas perdas por convecção.

No 4º dia do primeiro período, cerca das 15:00h, foi necessário molhar com uma mangueira de alto débito os dois animais da raça Frísia. O banho decorreu durante cerca de 5 minutos. Esta situação repetiu-se no segundo período nos 2º e 3º dias, sensivelmente à mesma hora, com os animais da raça Frísia e da raça Limousine.

Este procedimento resultou da constatação de polipneia de boca aberta acompanhada de intensa sialorreia. As T_{rect} , excepcionalmente medidas neste horário, registaram valores próximos dos 41°C. Optou-se, portanto, por proceder ao banho de todos os animais que apresentassem estas sintomatologias de stresse térmico, de modo a salvaguardar a sua saúde e o seu bem-estar.

Após o banho todos os animais apresentavam temperaturas rectais inferiores a 40,5°C e exibiam polipneia térmica de boca fechada, com F_{resp} semelhantes às apresentadas na maioria das situações de stresse térmico (entre 85 e 105 mov. \cdot min $^{-1}$).

As T_{rect} médias apresentadas pelas raças Frísia e Limousine às 16:00h e às 20:00h corresponderam a valores abaixo daqueles que presumivelmente exibiriam em condições normais sem intervenção externa.

Os efeitos dos banhos na variação da T_{rect} (a longo prazo) não puderam de ser devidamente quantificados, ficando apenas constatada a intensa sintomatologia de stresse térmico e as dificuldades destes animais na manutenção da T_{rect} naquelas condições específicas.

5.3.3.2. Influência da radiação nas variáveis fisiológicas

A avaliação do balanço térmico da radiação envolve um grande número de variáveis, algumas delas bastante difíceis de incluir num modelo, não apenas pelas dificuldades inerentes à sua medição, mas principalmente pelas interacções que estabelecem entre si.

O delineamento desta experiência, contemplando dois períodos diferentes sem repetição dos animais nos períodos, introduziu à *priori* uma fonte adicional de variação. Na verdade, os efeitos dos factores Período e Animais poderiam eventualmente confundir-se, o que a ocorrer poderia inviabilizar uma comparação rigorosa entre as raças e a impossibilidade de realizar equações de regressão. A impossibilidade de incluir dois novos períodos experimentais com a repetição dos animais (tal como havia sido delineado) deveu-se às alterações súbitas nas condições meteorológicas e, principalmente, ao início da quarentena dos animais da Herdade da Mitra devido a surto de leucose. Portanto, a necessidade de contemplar estas eventuais interacções determinou a realização de análises de variância onde foram incluídos os referidos factores, de acordo com o modelo especificado (vide Modelo 1). Os resultados dessas análises confirmaram a inexistência de diferenças significativas nas interacções, possibilitando juntar todos os valores num único período, efectuando uma análise mais simplificada (vide Modelo 3).

Para se estudarem os efeitos da radiação solar nos animais devem ser consideradas duas vertentes: a radiação solar directa incidente no animal (de acordo com a sua superfície corporal e com o seu posicionamento face ao ângulo de incidência solar) e os aspectos intrínsecos de cada animal (características da pelagem e suas interacções com a radiação incidente e as vias de termólise).

Numa primeira fase foi calculada ao longo do dia a radiação teoricamente recebida por cada animal, tendo como base o *fator de conformação* (F_c) e a quantidade de radiação solar directa. As análises de variância resultantes permitiram identificar diferenças significativas entre os factores Período e Hora e a ausência de diferenças entre as Raças.

Nas Fig. 5.7. e 5.8. estão representados os valores médios calculados para a radiação teoricamente interceptada (R_{rec}) em cada período e os valores médios registados em cada raça em ambos os períodos.

A quantidade de radiação incidente nos animais foi uma fracção relativamente constante da radiação solar directa total. A manutenção dos animais com o seu eixo antero-posterior perpendicular à fonte de radiação determinou uma menor superfície de exposição. Assim, apesar de uma intensidade de radiação superior às 13:00h a energia que é interceptada pelos animais é inferior relativamente aquela registada às 16:00h. A ausência de diferenças significativa entre as raças pode, em parte, ser explicada pelo posicionamento dos animais, uma vez que as suas faces laterais estão mais sombreadas durante as horas de maior intensidade de radiação, atenuando as diferenças decorrentes das massas e superfícies corporais. Por outro lado, a heterogeneidade das massas corporais dentro de cada raça pode ter contribuído também para a dispersão das médias e consequentemente para a ausência de diferenças

significativas.

Na natureza esta situação é explorada com frequência principalmente nos animais presentes nos climas mais áridos. Os comportamentos adaptativos que se observam consistem na orientação do eixo antero-posterior do corpo de acordo com a posição do sol, de modo a minimizar a área de exposição e a radiação interceptada (Wilson, 1989; Lovegrove, 1999). Vários estudos com diferentes espécies constatam que o isolamento propiciado pela pelagem, em conjugação com a orientação adequada face ao ângulo solar, permite que apenas 10% da radiação incidente influencie a superfície da pele (Jessen, 2001)

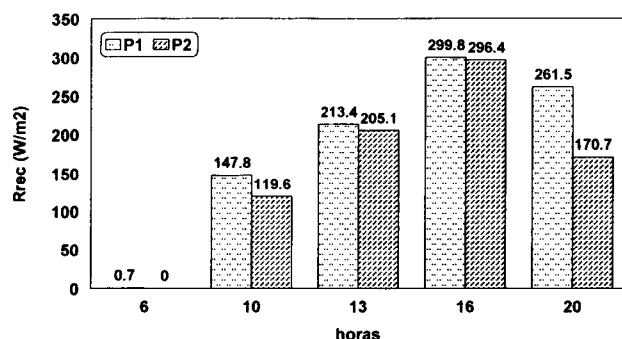


Fig 5.7. - Radiação solar recebida pelos animais ao longo do dia nos períodos 1 e 2

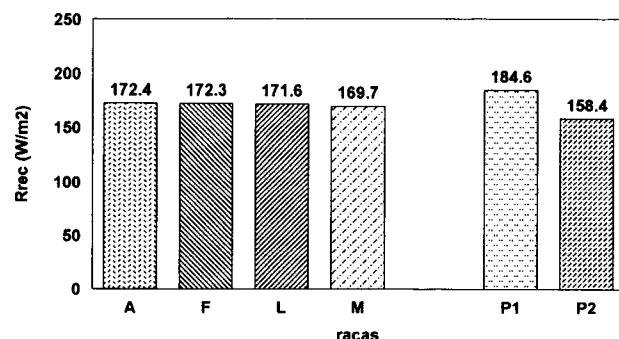


Fig. 5.8. - Radiação solar média recebida pelas raças e radiação solar média dos períodos

A diferença entre os períodos 1 e 2 nos valores médios R_{rec} resultou em boa parte das alterações do fotoperíodo. O intervalo de tempo entre os períodos 1 e 2 foi de 15 dias, o que determinou que a intensidade da radiação às 20:00h apresentasse valores bastante inferiores no período 2 ($170,7 \text{ W.m}^{-2}$ contra os $261,5 \text{ W.m}^{-2}$), os quais foram determinantes para as diferenças nas médias observadas.

Apesar das semelhanças na R_{rec} pelas várias raças os seus efeitos dependem essencialmente da quantidade de energia que é transferida para a superfície da pele durante um determinado intervalo de tempo, a qual está bastante dependente dos coeficientes de reflexão da pelagem. Estes permitem inferir da quantidade de radiação absorvida na pelagem potencialmente transmissível para a superfície da pele. Numa fase sequente importa considerar quanta radiação absorvida é efectivamente transmitida ao longo da espessura da pelagem e influencia a epiderme.

Na Fig. 5.9. estão representadas as espessuras médias apresentadas pelas várias raças e os respectivos erros padrão.

A raça Mertolenga apresentou a menor espessura de pelagem, enquanto que a raça Frísia apresentou o valor mais alto, significativamente superior ao das raças nativas. A raça Limousine apresentou valores intermédios semelhantes aos das raças Frísia e Alentejana. As espessuras registadas na raça Limousine foram semelhantes às registadas por Berry e Shanklin (1961) citado por Udo (1978) que registaram em vacas Guernsey valores próximos de 10mm.

No entanto Udo (1978), registou na raça Shorthorn, durante o Verão, valores inferiores (5,8 a 6,8mm). No caso presente, as diferenças nas espessuras das pelagens permitiram evidenciar uma aclimatação sazonal mais pronunciada nas raças nativas, principalmente na raça Mertolenga. A espessura média apresentada pela raça Mertolenga, embora acima dos normalmente exibidos pelos zebuínos, aproximou-se bastante dos valores observados nas raças taurinas presentes e adaptadas aos trópicos, como é o caso da raça Caracu (3,96mm) (Pereira *et al.* dados não publicados) e da Jersey (3,17 e 5,48mm)(Silva *et al.*, 1988).

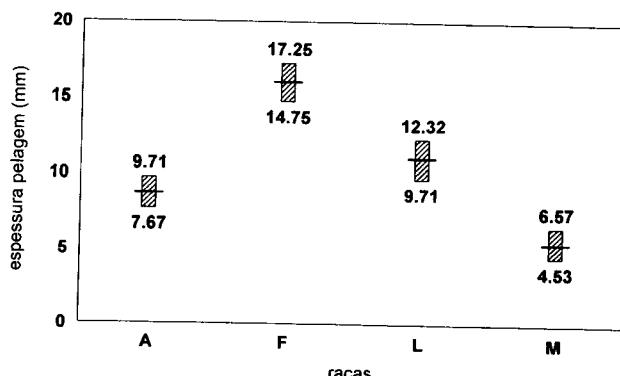


Fig.5.9. Espessuras das pelagens e respectivos erros padrão

5.10.).

Os menores valores médios observados na raça Alentejana parecem poder ser atribuídos à pelagem mais escura e são semelhantes aos valores encontrados na raça Red Sussex (0,17) (Monteith e Unsworth, 1990). Porém, a raça Limousine, com pelagem mais clara (embora com variações nas tonalidades entre os indivíduos) apresentou valores próximos aos da raça Alentejana. Tal como é referido em diversos estudos, além da coloração clara da pelagem ser um factor determinante para os maiores valores do albedo, o tipo de pelagem, mais acamada e com pêlos mais grossos, pode contribuir para o aumento da fracção da radiação reflectida (Turner e Schleger, 1960; McArthur, 1981; Finch *et al.*, 1984).

Bonsma e Pretorius (1943) citados por Bianca (1965), referem que os animais da raça Afrikander, de cor castanha escura, apresentavam coeficientes de reflexão de 0,15, enquanto que os animais da raça Jersey com pelagem mais clara apresentaram valores de 0,11. Resultados semelhantes são referidos por

Finch (1972) em antílopes africanos, em que os alcélafos (*Alcelaphus buselaphus*) e os elandes (*Taurotragus oryx*) apresentaram coeficientes de reflexão de 0,42 e 0,22 respectivamente. Tendo em conta que ambas as espécies exibem pelagens castanhas-pardas, estas maiores diferenças foram atribuídas a diferenças nas densidades e nas espessuras.

Na raça Alentejana, a estrutura mais acamada e mais brilhante da sua pelagem poderá ter contribuído para

5.10. Coeficientes de reflexão médios das pelagens e respectivas amplitudes

atenuar as diferenças relativamente às restantes raças, principalmente à raça Limousine na qual apesar da coloração mais clara, a pelagem menos acamada e mais espessa poderá ter influenciado negativamente o albedo. Os valores dos coeficientes de reflexão registados na raça Frísia são uma média ponderada dos valores obtidos nas manchas brancas e negras. Donde, uma vez que a presença de manchas brancas e negras apresentava um equilíbrio semelhante, o valor de 0,23 encontra-se entre os valores normalmente obtidos para as pelagens negras 0,12 (Aberdeen Angus) e para pelagens brancas de taurinos 0,42 (Cena, 1974; Monteith e Unsworth, 1990). No entanto, McGovern e Bruce (2000) referem valores de 0,51 para as pelagens brancas dos zebus, reforçando a ideia de que outros factores, além da cor, possam influenciar o

coeficiente de reflexão. Na raça Mertolenga, as pelagens mescladas de pêlos brancos/acinzentados com outros castanhos/avermelhados originaram no seu conjunto uma estrutura mais reflectora. Algo surpreendente a baixa variabilidade relativa entre os indivíduos da raça Mertolenga. Na verdade, os animais apresentaram uma grande heterogeneidade nas colorações e nas tonalidades, o que não se repercutiu de forma evidente nos coeficientes de reflexão. Tal situação parece vir ao encontro do referido por Silva (2000), que sugere que a presença de pêlos mais claros numa pelagem escura se repercutem favoravelmente não só no aumento do albedo mas também na quantidade de energia transmitida. Com efeito, as pelagens mescladas de pêlos brancos-cinzentos com outros de cor vermelha e/ou castanha parecem aliar uma elevada reflectividade com uma menor transmissividade.

Com vista à melhor compreensão das relações entre a radiação de ondas curtas e a aquisição de calor pelos animais foram efectuados balanços unitários de radiação de ondas curtas (b_{oc}). Os valores médios dos balanços de ondas curtas registados para cada hora e para cada raça são apresentados na tabela 5.1..

A análise dos valores do b_{oc} ao longo do dia permitiu identificar diferenças significativas entre os factores Raça e Hora. Em todas as raças os b_{oc} apresentaram tendências semelhantes, não se tendo verificado interacções significativas. As diferenças verificadas entre as raças ocorreram sobretudo devido aos maiores valores observados na raça Alentejana, que apresentou diferenças significativas relativamente às raças Mertolenga e Frísia. Os b_{oc} médios variaram ao longo do dia. Porém em cada hora os b_{oc} das raças não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 5.1. Balanço unitário de radiação de ondas curtas ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

horas raças \	6:00h	10:00h	13:00h	16:00h	20:00h	Média
A	7,13 ^{aA}	514,76 ^{bA}	789,01 ^{cA}	586,05 ^{dA}	28,07 ^{aA}	385,00 ^A
F	5,85 ^{aA}	462,02 ^{bA}	747,64 ^{cA}	549,26 ^{dA}	27,53 ^{aA}	358,46 ^B
L	6,52 ^{aA}	493,53 ^{bA}	780,16 ^{cA}	580,11 ^{dA}	30,29 ^{aA}	378,12 ^A
M	6,65 ^{aA}	470,32 ^{bA}	736,11 ^{cA}	538,61 ^{dA}	31,08 ^{aA}	356,55 ^B
Média	6,54 ^a	485,16 ^b	763,23 ^c	563,51 ^d	29,24 ^e	

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método Tuckey-Kramer).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças dentro das horas (pelo método Tuckey-Kramer).

Considerando os valores dos coeficientes de reflexão obtidos em cada raça, os b_{oc} manifestaram a tendência esperada. Aos maiores valores dos coeficientes de reflexão parecem corresponder a menores ganhos líquidos de radiação de ondas curtas. As diferenças mais acentuadas nos b_{oc} entre as raças, podem ser atribuídos à introdução da radiação reflectida proveniente do solo no cálculo do balanço, o que determinou uma penalização dos indivíduos com menor albedo. Ingram e Mount (1975) referem que os bovinos (com pelagens do mesmo tipo) com pelagens mais claras reflectem mais 40% da radiação reflectida do solo relativamente às pelagens mais escuras.

Os maiores b_{oc} ocorreram às 13:00h. Esta situação parece algo paradoxal relativamente aos valores da R_{rec} pelos animais, onde os maiores valores foram registados 16:00h. Esta aparente discrepância pode ter origem nas relações que se estabeleceram entre a intensidade da radiação solar e a área da superfície de exposição relativamente ao ângulo de inclinação solar. Na verdade, o cálculo da R_{rec}

contempla o corpo do animal como um todo, representado por um cilindro horizontal, que é traduzido no factor de conformação (F_c). Porém, o cálculo do b_{oc} foi efectuado por unidade de superfície, não contemplando os efeitos do posicionamento do animal e a proporção da superfície corporal que é iluminada. Por outro lado, estas diferenças podem estar também parcialmente associadas aos instrumentos utilizados para efectuar as respectivas medições. O albedómetro utilizado nas medições das pelagens dos animais mede numa gama de comprimento de onda que inclui uma parte da radiação infravermelha próxima, que é diferente do instrumento presente na estação meteorológica e que serviu de base para o cálculo da R_{rec} . Os valores globais de radiação incidente medidos para o cálculo do b_{oc} foram por isso algo superiores. A maior quantidade de radiação do infravermelho próximo detectado pelo albedómetro é susceptível de ter proporcionado uma maior carga térmica às 13:00h originando um b_{oc} superior. No entanto, a radiação infravermelha emitida pelo animal, por apresentar um comprimento de onda além do infravermelho próximo, já não é detectada pelo albedómetro, sobrevalorizando os valores b_{oc} relativamente aos valores da R_{rec} .

O b_{oc} possibilita uma informação relevante da quantidade de radiação de ondas curtas susceptível de influenciar a superfície do animal. Porém, é inconclusiva quanto à influência desta na aquisição de calor na pele, uma vez que não contempla os fenómenos de aquecimento da pelagem e os consequentes níveis de re-radiação na faixa do infravermelho médio-longo (Cena, 1974).

A impossibilidade de medir ou calcular directamente a transmissividade nas pelagens determinou a realização de várias medições acessórias que, no seu conjunto, pudessem fornecer indicações acerca da aquisição de calor.

A quantificação do balanço unitário de radiação (b_{rad}) agrega relativamente ao balanço unitário de ondas curtas a componente da radiação infravermelha incidente e emitida na e pela pelagem. A conjugação dos valores obtidos nos b_{oc} e no b_{rad} permitem evidenciar de que forma a componente infravermelha poderá influenciar a quantidade de energia susceptível de ser transmitida para a pele. Com efeito, quanto menores forem os valores do b_{rad} , maior probabilidade existe de se registarem maiores valores emissão de radiação infravermelha proveniente da superfície da pelagem do animal. Este conjunto de informações é ainda complementado pela T_{pg} . Os valores observados nos b_{rad} são apresentados na tabela 5.2..

A análise dos b_{rad} ao longo do dia permitiu constatar a influência dos factores Raça e Hora. A raça Frísia apresentou valores médios significativamente inferiores às restantes, enquanto que a raça Alentejana exibiu valores significativamente superiores. Os valores dos b_{rad} ao longo do dia apresentaram tendências semelhantes em todas as raças. Os valores ocorridos às 6:00h e às 20:00h apresentaram valores negativos, evidenciando fluxos de calor centrífugos em todas as raças. Salientam-se os valores mais negativos da raça Frísia observados às 6:00h.

A manutenção de níveis elevados de re-radiação durante o período nocturno está associada normalmente a elevados armazenamentos de calor e a pelagens com maior grau de isolamento. O fluxo de calor centrífugo mantém-se elevado durante a noite de forma a dissipar o calor armazenado por via sensível. O escoamento do calor é mais dificultado quanto mais espessas e mais lanosas forem as pelagens, as quais se mantêm com temperaturas mais altas (e durante mais tempo) devido à menor interferência de fenómenos convectivos. As noites claras e secas são ideais para a dissipação de calor por esta via, sendo utilizado em larga extensão pelos animais presentes em climas áridos (Lee, 1972; Louw, 1993;

Jessen *et al.*, 1994).

Tabela 5.2. Balanço unitário de radiação global ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

horas raças \	6:00h	10:00h	13:00h	16:00h	20:00h	Média
Alentejana	-40,60 ^{aA}	386,26 ^{bA}	604,30 ^{cA}	427,00 ^{bA}	-42,19 ^{aA}	266,95 ^A
Frísia	-86,09 ^{aB}	351,31 ^{bA}	566,67 ^{cA}	343,78 ^{bA}	-44,05 ^{aA}	226,32 ^B
Limousine	-44,15 ^{aA}	369,37 ^{bA}	586,38 ^{cA}	395,10 ^{bA}	-39,24 ^{aA}	253,49 ^{AB}
Mertolenga	-44,14 ^{aA}	360,05 ^{bA}	568,89 ^{cA}	392,36 ^{bA}	-41,80 ^{aA}	247,07 ^{AB}
Média	-53,75 ^a	366,75 ^b	581,56 ^c	389,56 ^b	-41,82 ^a	

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método Tukey-Kramer).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre pares de raças dentro das horas (pelo método Tukey-Kramer).

A transferência de calor da superfície da pelagem para a pele depende indirectamente da radiação emitida, da interferência da convecção e principalmente da transmissividade. Esta está dependente, além da coloração, de várias características da pelagem como a espessura e do tipo de pelo, do seu ângulo e grau de oleosidade (Turner e Schleger, 1960; McArthur, 1981; Finch *et al.*, 1984).

A T_{pg} pode servir de coadjuvante na interpretação destes resultados, permitindo um maior grau de certeza acerca do montante de radiação que é susceptível de estar a ser emitida sob forma de radiação infravermelha. Esta via de termólise sensível é devidamente salientada por vários autores que estudaram esta via termolítica em animais de várias espécies com diferentes tipos de pelagens e presentes em regiões com diferentes graus de aridez (Schmidt-Nielsen *et al.*, 1957; Cossins e Bowler, 1987; Louw, 1993; Lovegrove, 1999). Os valores observados nas T_{pg} são apresentados na tabela 5.3.

Tabela 5.3. - Temperaturas das pelagens das raças ao longo do dia (°C)

horas raças \	6:00h	10:00h	13:00h	16:00h	20:00h	Média
Alentejana	22,43 ^{aA}	40,03 ^{bAB}	44,09 ^{bAB}	43,09 ^{bAB}	30,97 ^{cA}	36,12 ^A
Frísia	23,54 ^{aA}	42,46 ^{bA}	48,12 ^{cA}	46,49 ^{cA}	30,48 ^{dA}	38,22 ^B
Limousine	24,16 ^{aA}	41,335 ^{bAB}	45,48 ^{bAB}	44,30 ^{bAB}	30,52 ^{cA}	37,11 ^{AB}
Mertolenga	23,26 ^{aA}	37,08 ^{bb}	41,80 ^{cB}	40,24 ^{bcB}	30,31 ^{dA}	34,54 ^{AB}
Média	23,35 ^a	40,23 ^b	44,87 ^c	43,53 ^b	30,57 ^a	

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método Tukey-Kramer).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre pares de raças dentro das horas (pelo método Tukey-Kramer).

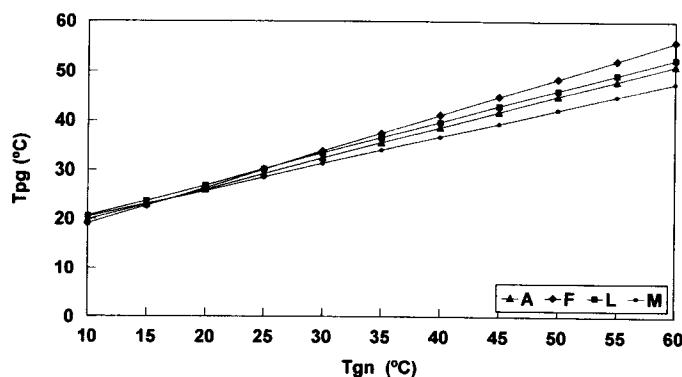
A análise dos valores da T_{pg} permitiu identificar diferenças significativas entre os factores Raça, Hora e nas respectivas interacções. A raça Mertolenga exibiu T_{pg} médias significativamente inferiores às demais, enquanto que os maiores valores foram observados nas raças Frísia e Limousine. A variação da T_{pg} ao longo do dia apresentou um padrão semelhante em todas as raças. Os valores máximos ocorreram às 13:00h, com a raça Frísia a apresentar as T_{pg} mais altas e a raça Mertolenga as mais baixas.

As variações das T_{pg} corresponderam em boa parte às tendências constatadas no b_{oc} e no b_{rad} . No entanto, a proximidade entre as T_{pg} observadas às 13:00h e às 16:00h parece sugerir um efeito cumulativo de radiação absorvida na pelagem não totalmente dissipada e/ou transmitida. As relações entre as T_{gn} e as T_{pg} são representadas na Fig. 5.11.

A influência da T_{gn} na T_{pg} é maior nas raças exóticas relativamente às raças nativas. As diferentes T_{pg} permitem supor não só absorbividades diferentes como sugerem diferentes capacidades de eliminar o calor da sua superfície.

Tendo em conta os coeficientes de reflexão obtidos em cada raça, as maiores diferenças registadas nas T_{pg} parecem sugerir uma maior influência da radiação infravermelha, sendo lícito admitir que outras características da pelagem (tipo e espessura), possam ter desempenhado um papel igualmente relevante. Esta situação é ilustrada pelos baixos balanços de radiação na raça Frísia que parecem estar associados a uma elevada emissão de radiação infravermelha como sugere a elevada T_{pg} .

Estas observações estão de acordo com alguns trabalhos que referem que as pelagens com maior espessura (pêlos mais longos e finos), tendem a absorver maior quantidade de energia, que se traduz em maiores temperaturas superficiais (Hutchinson e Brown, 1969; Gebremedhin e Hillman, 1993). Em vacas Frísias, em condições de sombreamento, as manchas brancas e negras apresentam temperaturas bastante uniformes. No entanto, sob radiação solar directa as manchas pretas exibem temperaturas bastantes mais elevadas relativamente às manchas brancas, com diferenças superiores a 8°C (Hutchinson e Brown, 1969).



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{pg} = 13,5765 + 0,62.T_{gn}$	0,93	P<0,01
Frísia	$T_{pg} = 11,6677 + 0,7369.T_{gn}$	0,90	P<0,01
Limousine	$T_{pg} = 14,2389 + 0,6376.T_{gn}$	0,91	P<0,01
Mertolenga	$T_{pg} = 14,9379 + 0,5448.T_{gn}$	0,94	P<0,01

Fig. 5.11. Relações entre a temperatura da pelagem e a temperatura do globo negro

Nas manchas escuras a maior parte da radiação é absorvida junto à superfície externa, sendo o aquecimento profundo da pelagem mais reduzido devido à maior re-radiação e às perdas por convecção. Inversamente, as temperaturas das manchas brancas são mais uniformes ao longo de toda a espessura da pelagem devido à maior transmissividade da radiação (Hutchinson e Brown, 1969; Gebremedhin *et al.*, 1983).

A raça Alentejana apresentou maiores balanços de radiação e uma relativamente baixa T_{pg} , sugerindo menores níveis de re-radiação. Se se conjugarem as baixas T_{pg} com o baixo coeficiente de reflexão, tende a admitir-se que a radiação não reflectida, e por isso absorvida, tenha sido provavelmente transmitida através da pelagem. Porém, as pelagens mais escuras apesar de absorverem maior quantidade

de radiação de ondas curtas tendem a apresentar menor transmissividade. Desta forma, a ocorrência simultânea de baixos coeficientes de reflexão e de baixas T_{pg} parece poder ser justificada pela maior influência da convecção, que facilita o arrastamento do calor na camada limite da pelagem, que é tanto maior quanto menor for a sua espessura (Hutchinson e Brown, 1969; Gebremedhin, 1985; Silva, 2000), o que ocorre parcialmente na raça Alentejana.

Na raça Limousine, os valores da T_{pg} apresentaram uma correspondência com os relativamente elevados b_{rad} . Na raça Mertolenga o maior coeficiente de reflexão parece ter sido determinante nos baixos balanços de ondas curtas e de radiação, enquanto que os valores mais baixos da T_{pg} , parecem não indicar uma forte componente de emissão infravermelha, sugerindo antes, que os baixos b_{rad} estejam mais associados a uma maior reflexão da radiação de ondas curtas. A influência positiva da convecção no arrastamento do calor absorvido na superfície da pelagem é proporcionalmente superior em pelagens menos espessas, e pode também ter contribuído para a manutenção de T_{pg} mais baixas na raça Mertolenga (Finch *et al.*, 1984; Jessen *et al.*, 1994).

A T_{pl} é frequentemente apontada como um bom indicativo da forma como o animal está a interagir com o ambiente envolvente, salientando alguns autores a sua importância como indicador da extensão da vasomotricidade. Importa no entanto registar que a T_{pl} resulta da conjugação de vários fluxos de calor, pelo que é frequente que a variação da T_{pl} num determinado sentido não possa ser atribuído de forma linear apenas a uma determinada causa. Ao longo do dia, na presença da radiação solar directa, verificam-se fluxos de calor de magnitudes variáveis que podem mudar de sentido consoante a temperatura radiante, permitindo alterações nos armazenamentos de calor durante o ciclo circadiano. A variação da T_{pl} pode num determinado instante ser atribuído à variação da vasomotricidade, noutro ao fluxo de radiação que atravessa a pelagem e noutro ainda à evaporação do suor na superfície da pele.

Sob intensa radiação solar directa a T_{pl} resulta essencialmente da interacção entre a intensidade e a velocidade com que a energia térmica atravessa a pelagem e a quantidade e a velocidade com que o suor é evaporado. Porém, durante a noite a vasomotricidade tende a apresentar maior preponderância, em boa parte resultante do montante de calor armazenado durante o dia e/ou da manutenção de elevadas T_{pg} . Os valores observados nas T_{pl} são apresentados na tabela 5.4..

Tabela 5.4. - Temperaturas da pele registadas nas raças ao longo do dia (°C)

horas \ raças	6:00h	10:00h	13:00h	16:00h	20:00h	Média
Alentejana	32,32 ^{aA}	35,52 ^{bA}	38,47 ^{cA}	37,50 ^{bCA}	35,52 ^{bA}	35,86 ^A
Frísia	31,00 ^{aA}	35,59 ^{bCA}	38,43 ^{bA}	37,56 ^{bCA}	35,17 ^{cA}	35,55 ^A
Limousine	32,81 ^{aA}	35,86 ^{bA}	38,50 ^{cA}	37,74 ^{bCA}	35,34 ^{adA}	36,05 ^A
Mertolenga	33,36 ^{aA}	35,76 ^{bA}	38,19 ^{cA}	37,22 ^{bCA}	35,76 ^{bA}	36,06 ^A
Média	32,37 ^a	35,68 ^b	38,40 ^c	37,50 ^{cd}	35,45 ^{bd}	

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método Tukey-Kramer).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças dentro das horas (pelo método Tukey-Kramer).

As T_{pl} médias foram apenas influenciadas pelo factor Hora. A T_{pl} apresentou um padrão de variação diária semelhante em todas as raças, com os valores máximos registados às 13:00h, o que sugere a maior importância da T_{pg} na T_{pl} e a menor contribuição da T_{rect} nos valores da T_{pl} .

Situação similar foi registada por Finch (1972), que salienta uma maior influência dos fluxos de calor associados à radiação solar na maior variação da T_{pl} . Com efeito, no alcélafo (*Alcelaphus buselaphus*) com pelagem de 8 mm de espessura, foram constadas diferenças de 6°C entre a T_{pl} e a T_{pg} . No elande (*Taurotragus oryx*), com pelagem de 1,5mm de espessura as diferenças foram inferiores a 2°C. Estas diferenças repercutiram-se na quantidade de calor emitido que foi superior no Alcélafio em cerca de 20%.

As maiores T_{pl} observadas na raça Alentejana parecem sugerir uma maior influência do fluxo radiante na epiderme. Na raça Mertolenga as menores T_{pl} durante as fases mais quentes do dia parecem apontar para um maior nível de proteção da pele pela pelagem e eventualmente níveis suficientemente elevados de evaporação de suor. Porém a Tar mais baixas as T_{pl} são superiores às das restantes raças sugerindo uma maior influência da vasodilatação periférica.

As variações dos fluxos de calor ao longo do dia repercutiram-se de forma distinta nas T_{rect} das várias raças (Tabela 5.5.).

Os valores das T_{rect} apresentados para as raças Frísia e Limousine às 16:00h e 20:00h foram influenciadas pelos banhos a que os animais foram sujeitos em 3 dos 8 dias da experiência. Além do arrefecimento imediato proporcionado por transferência de massa e que permitiu a diminuição da T_{rect} logo após o banho, os efeitos deste no arrefecimento corporal prolongaram-se necessariamente durante mais tempo, devido aos efeitos da evaporação da água presente na pele/pelagem. Na verdade, foi impossível prever quais os verdadeiros desvios da T_{rect} que esse procedimento implicou, sendo certa uma certa sub-valorização. Hillman *et al.* (2001), perante condições semelhantes, observaram reduções de 4,5 a 6°C na T_{pl} e de 0,5°C na T_{rect} e de 16 mov.s⁻¹ na F_{resp} .

Tabela 5.5. - Temperaturas rectais ao longo do dia (°C)

horas \ raças	6:00h	10:00h	13:00h	16:00h	20:00h	Média
Alentejana	38,27 ^{aA}	38,65 ^{bA}	38,86 ^{bCA}	39,06 ^{cA}	39,01 ^{bCA}	38,77 ^A
Frísia	38,34 ^{aA}	38,54 ^{abA}	38,87 ^{cA}	39,19 ^{cA}	38,81 ^{bcAB}	38,75 ^B
Limousine	38,20 ^{aA}	38,50 ^{abA}	38,81 ^{bA}	39,16 ^{bCA}	38,62 ^{cAB}	38,66 ^{AB}
Mertolenga	38,18 ^{aA}	38,51 ^{bA}	38,70 ^{bCA}	38,91 ^{cA}	38,77 ^{bcB}	38,61 ^{AB}
Média	38,25 ^a	38,55 ^b	38,81 ^c	39,08 ^b	38,80 ^a	

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método Tukey-Kramer).

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças dentro das horas (pelo método Tukey-Kramer).

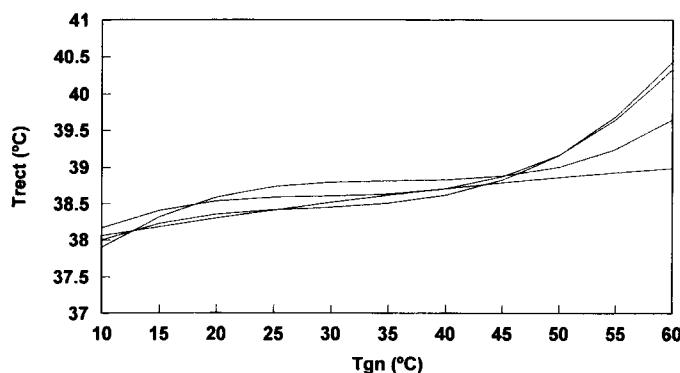
A T_{rect} foi influenciada significativamente pelos factores Raça e Hora. A raça Mertolenga apresentou T_{rect} significativamente menores que aquelas das raças Alentejana e Frísia.

A progressão das T_{rect} ao longo do dia apresentou um padrão semelhante em todas as raças, não se registando diferenças significativas em cada hora. Os valores máximos foram atingidos às 16:00h, sugerindo um fenómeno de arrastamento temporal (*zeitgeber*). Dado que os maiores valores do b_{rad} e as maiores T_{pg} e T_{pl} foram atingidos às 13:00h, a constatação da maior T_{rect} às 16:00h parece ser o resultado da maior R_{rec} e dos armazenamentos de calor acumulados. A velocidade de aquisição de calor verificada durante a fase de maior intensidade de radiação não foi inteiramente compensado por igual velocidade de dissipação de calor, dando origem a pequenos armazenamentos de calor instantâneos cujo somatório

conduziu a alterações variáveis da T_{rect} . Mesmo com a diminuição da intensidade de radiação verificada entre as 13:00h e as 15:00h, a R_{rec} pelos animais permaneceu elevada devido à maior área de exposição influenciada pela alteração do ângulo solar. Às 16:00h, as raças Frísia e Limousine, apesar da benéfica influência do banho, ainda apresentaram as maiores T_{rect} , enquanto que os menores valores foram observados na raça Mertolenga.

Importa salientar que apesar das manifestações mais ou menos exuberantes de stresse térmico, as T_{rect} não foram suficientemente elevadas para poderem ser classificadas como uma clara hipertermia. Exceptuando os casos particulares dos animais das raças Frísia e Limousine, as T_{rect} permaneceram dentro dos limites considerados como fraca/moderada hipertermia.

De forma a evidenciar as várias dinâmicas das T_{rect} , estas foram relacionadas com as T_{gn} (Fig. 5.12.). De acordo com as relações obtidas foram evidentes dinâmicas bastante diferentes entre as raças nativas e exóticas. Acima dos 45°C a dinâmica das T_{rect} é claramente diferenciada. As raças nativas, principalmente a Mertolenga, apresentaram uma maior capacidade de manter estável a T_{rect} , enquanto as raças Frísia e Limousine apresentaram dinâmicas semelhantes mas maiores acréscimos.



Raças	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$T_{rect} = 36,4145 + 0,1986.T_{gn} - 0,0054.T_{gn}^2 + 0,0005.T_{gn}^3$	0,86	P<0,01
Frísia	$T_{rect} = 37,1761 + 0,1420.T_{gn} - 0,0048.T_{gn}^2 + 0,0005.T_{gn}^3$	0,85	P<0,01
Limousine	$T_{rect} = 37,0580 + 0,1342.T_{gn} - 0,0045.T_{gn}^2 + 0,0005.T_{gn}^3$	0,90	P<0,01
Mertolenga	$T_{rect} = 37,7819 + 0,0291.T_{gn} - 0,0001.T_{gn}^2$	0,85	P<0,01

Fig. 5.12. Relações entre a temperatura rectal e a temperatura do globo negro

A maior estabilidade da T_{rect} , mesmo a T_{gn} elevadas, tem sido evidenciada principalmente em raças zebuínas. As principais razões apontadas para esta superioridade são variadas: a menor produção de calor metabólico (Webster, 1988; Silanikove, 2000), a maior condutância (McArthur, 1981; Finch, 1985; Robertshaw, 1985) e os maiores níveis de termólise latente (Moran, 1973; Finch *et al.*, 1982; Spiers *et al.*, 1994; Titto *et al.*, 1998).

Nos casos de predomínio da termogénese, a inércia térmica inerente a cada corpo pode determinar uma demora variável no aumento da T_{rect} e consequentemente um atraso na estimulação dos termossensores centrais que irão reforçar a actividade dos mecanismos de termólise. Os efeitos são variáveis originando desfasamentos temporais da T_{rect} , que podem apresentar o seu máximo bastante além daquele da temperatura ambiente (McLean *et al.*, 1983; Finch, 1986). A interacção entre a inércia térmica

e o período do dia em que se inicia o armazenamento de calor explica a ocorrência das máximas T_{rect} mais próximas do período nocturno (Bligh e Harthoorn, 1965; Lefcourt e Adams, 1996). A gordura subcutânea (principalmente na raça Limousine) e uma pelagem cujas características parecem dificultar a dissipação de calor (principalmente na raça Frísia) parecem favorecer ainda mais a resistência à passagem do fluxo de calor e aumentar o desfasamento temporal.

A quantificação do calor armazenado pelos animais contempla os factores massa e superfície corporais e indirectamente as influências destes na velocidade de permuta de calor e na inércia térmica de cada animal. Um determinado calor armazenado pode não ter repercussões acentuadas no balanço térmico de um animal com uma maior massa mas interferir significativamente no balanço térmico de outro animal com uma massa mais pequena (McLean *et al.*, 1983; McGovern e Bruce, 2000).

De forma a contemplar as diferenças nas massas corporais das raças foram calculados os armazenamentos de calor médio por hora (C_{arm}) (Fig. 5.13.). De acordo com o mesmo procedimento foram calculados os armazenamentos de calor acumulados ao longo do dia, partindo do referencial zero às 6:00h (Fig. 5.14). O C_{arm} por hora foi influenciado pelo factor Hora, enquanto que o C_{arm} acumulado foi influenciado pelo factor Raça e Hora, com interacção significativa. Os valores dos armazenamentos de calor observados às 20:00h contrastaram significativamente com os demais. A interacção significativa pode ser justificada pelo facto das raças que maior quantidade de calor armazenaram ao longo do dia (Frísia e Limousine) foram também aquelas que apresentaram decréscimos mais acentuados no C_{arm} às 20 horas. O efeito cumulativo do C_{arm} determinou diferenças significativas entre as raças às 16:00h, devendo, no entanto, atender-se aos efeitos dos banhos.

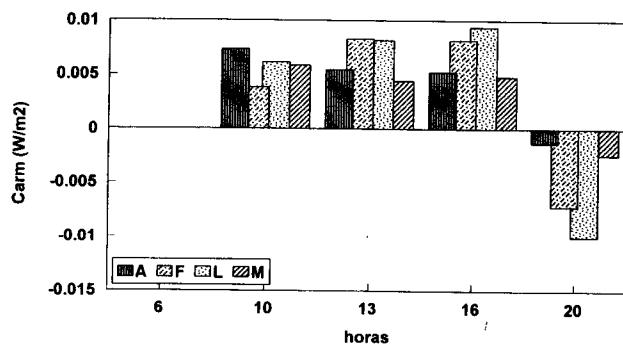


Fig. 5.13. - Calor armazenado por hora

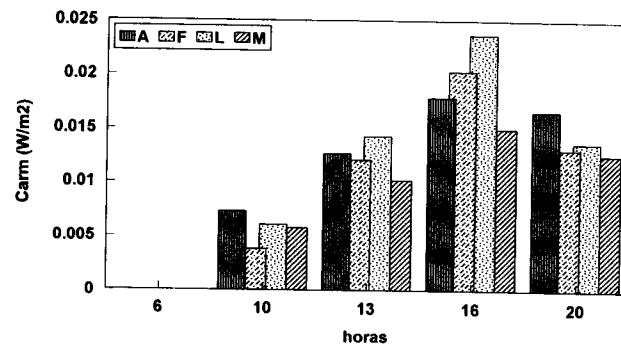


Fig. 5.14 - Calor armazenado acumulado ao longo do dia

Nas raças nativas a velocidade de dissipação de calor entre as 16:00h e as 20:00h foi inferior, originando que os animais apresentassem proporcionalmente menores diminuições do C_{arm} .

Verificou-se que a raça Mertolenga, apesar da menor massa corporal e da maior superfície específica, registou em média menores armazenamentos de calor por hora, o que originou armazenamentos de calor acumulados significativamente inferiores às restantes raças. Valores intermédios e crescentes foram registados para as raças Alentejana, Frísia e Limousine. A maior massa permite suportar uma maior inércia térmica e um efeito de diluição do calor armazenado na massa corporal, que se traduziu em acréscimos menos expressivos da T_{rect} .

5.3.3.3. Influência da radiação nas vias de termólise evaporativa

A intensidade de utilização dos processos de termólise evaporativa foram o objecto de estudo em experiência anterior. De acordo com os resultados obtidos, foi notória a variabilidade da T_{sd} entre as raças, que se concretizou por diferenças nas dinâmicas, nas intensidades e na proporcionalidade com que as vias de termólise latente foram utilizadas perante temperaturas crescentes.

Nas condições desta experiência os animais foram sujeitos ao ambiente natural, onde prevaleceram diferentes intensidades de radiação solar. Vários autores sugerem que a presença da radiação solar tende a alterar as intensidades de resposta e a proporcionalidade dos mecanismos de termólise. Estas diferenças entre os resultados obtidos no campo e em câmaras climáticas, levou alguns autores a sugeriram uma aplicação restrita dos resultados obtidos em câmara climática. Estes seriam adequados para efectuar comparações entre as raças mas, devido a alguma falta de correspondência com aqueles registados no campo, parecem não ser os mais correctos para estimar, por exemplo, as taxas máximas de sudação (Schleger e Turner, 1965; Murray, 1966).

Os valores médios das F_{resp} são apresentados na tabela 5.6. e da T_{sd} na Fig. 5.15.. As F_{resp} e as T_{sd} médias devem ser apenas consideradas como indicadores. Na verdade, a variabilidade ambiental em que foram obtidas podem dificultar uma efectiva comparação não só entre as raças mas também dentro das raças. As diferentes temperaturas críticas superiores, nas raças e nos indivíduos, podem interferir no início e na intensidade das respostas das vias termólíticas, pelo que as comparações que não considerem estes aspectos podem originar algumas discrepâncias relevantes.

Tabela 5.6. Frequências respiratórias (mov.min⁻¹) observadas ao longo do dia

raças \ horas	6:00h	10:00h	13:00h	16:00h	20:00h	Média raças
Alentejana	23,7 ^{aA}	46,0 ^{aBA}	65,2 ^{bCA}	76,0 ^{cA}	35,7 ^{aA}	49,3 ^A
Frísia	27,0 ^{aA}	57,7 ^{bA}	83,5 ^{cA}	91,5 ^{cA}	38,2 ^{abA}	59,6 ^B
Limousine	24,5 ^{aA}	51,0 ^{aA}	73,7 ^{abA}	86,0 ^{bA}	33,0 ^{aA}	53,6 ^{AB}
Mertolenga	25,0 ^{aA}	43,7 ^{abA}	64,5 ^{bCA}	75,5 ^{cA}	34,7 ^a	48,7 ^A
Média horas	25,1 ^a	49,6 ^b	71,7 ^c	82,2 ^d	35,4 ^f	

Índices superiores minúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre as horas dentro de cada raça (pelo método Tukey-Kramer)

Índices superiores maiúsculos diferentes nas células indicam diferenças significativas ($P<0,05$) entre pares de raças dentro das horas (pelo método Tukey-Kramer).

A F_{resp} foi influenciada significativamente pelos factores Raça e Hora. As médias mais elevadas foram observadas na raça Frísia, com valores significativamente superiores às demais, enquanto que as mais baixas foram constatadas na raça Mertolenga. A variação média da F_{resp} ao longo do dia exibiu um padrão semelhante em todas as raças. Os maiores valores foram atingidos às 16:00h, com os máximos associados à raça Frísia. A F_{resp} parece apresentar uma correspondência mais próxima com os valores da T_{rect} , uma vez que as restantes variáveis apresentaram os seus valores máximos às 13:00h. Esta constatação sugere que o efeito da radiação solar no desencadeamento da polipneia, antecipando-se à variação da T_{rect} , parece ser incrementado quando se verifica uma tendência para o aumento da temperatura corporal, que neste caso foi mais acentuada na raça Frísia.

Esta situação é referida por vários autores que registaram que as maiores F_{resp} parecem estar associadas numa primeira fase ao efeito directo da radiação solar e posteriormente aos aumentos

consistentes da temperatura corporal, quando se verifica uma estimulação conjunta dos termosensores periféricos e centrais.

Nos bovinos, vários autores têm considerado que uma maior tolerância ao calor está inevitavelmente associada a uma elevada taxa de sudação (Moran, 1973; Finch *et al.*, 1982; Silanikove, 2000).

O factor Raça foi determinante na variação da T_{sd} , tendo a raça Frísia apresentado T_{sd} significativamente inferiores às restantes, as quais apresentaram semelhanças entre si.

Os valores máximos das T_{sd} de todas as raças foram superiores às registadas na experiência anterior. Esta ocorrência pode ser justificada por vários factores: devido ao efeito estimulador da radiação solar directa e à aclimatação sazonal.

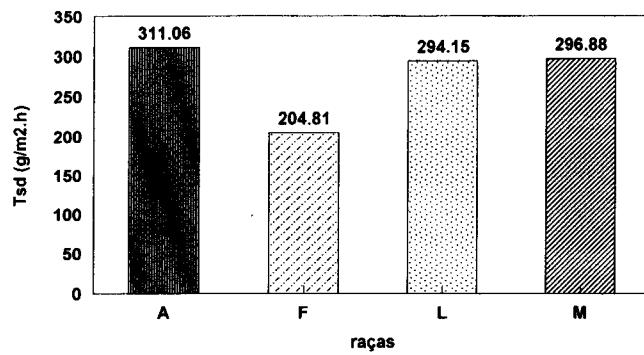


Fig. 5.15. Taxas de sudação médias

Nos herbívoros presentes nos trópicos, verifica-se normalmente um maior

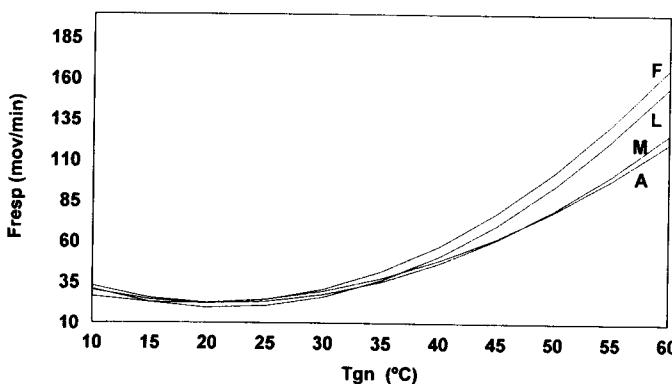
protagonismo da sudação relativamente à polipneia. Existem espécies, incluindo os bovídeos, que em câmara climática podem valorizar a polipneia mas que quando sujeitos à radiação solar directa incrementam substancialmente a participação da sudação na termólise (Finch, 1986). A aclimatização sazonal pode ter contribuído para os maiores valores das T_{sd} . Durante o período experimental os animais apresentavam-se aclimatados às condições de Verão, com temperaturas mais elevadas. A actividade dos folículos pilosos é mais intensa e as glândulas sudoríparas estão mais profusamente irrigadas, contribuindo para a maior produção de suor. Assim, tendo melhores condições para produzir maiores quantidades de suor e maior estímulo, as T_{sd} máximas tendem a ser superiores (Schleger e Turner, 1965; Murray, 1966;).

Os valores obtidos parecem sugerir diferentes capacidades de sudação. No entanto, nada explicam quanto às dinâmicas exibidas. Portanto importa quantificar como evoluem as F_{resp} e as T_{sd} observadas. De acordo com esta perspectiva, foram realizadas equações de regressão múltiplas segundo modelo *stepwise* entre as vias de termólise evaporativa e as variáveis independentes susceptíveis de as influenciar, (T_{gn} , b_{oc} e b_{rad}). A T_{gn} foi a variável que melhor explicou a variação das vias de termólise evaporativa. As relações entre a T_{gn} e a F_{resp} e a T_{gn} e a T_{sd} são apresentadas nas Fig. 5.16. e 5.17., respectivamente.

As relações entre a F_{resp} e a T_{gn} apresentaram padrões semelhantes entre as raças, com os maiores aumentos a verificarem-se após os 32°C. No entanto, parece notório que as raças Frísias e Limousine tendem incrementar as F_{resp} a T_{gn} inferiores.

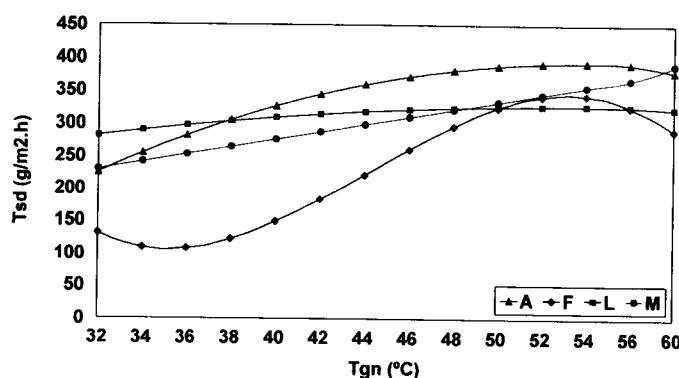
O desencadear precoce da polipneia parece estar associado a fenómenos antecipadores de provável hipertermia, devido à participação activa dos termossensores periféricos (Hahn *et al.*, 1997). Nas raças Limousine e, principalmente, na Frísia o precoce aumento da F_{resp} parece indicar uma maior influência da radiação na estimulação dos termossensores cutâneos. Apesar dos valores dos coeficientes de reflexão e dos valores dos b_{rad} não parecerem muito desfavoráveis, pode suspeitar-se de maior transmissividade. Na verdade, verifica-se que a transmissividade ao longo da pelagem é mais elevada em pelagens menos compactas e mais espessas onde o ângulo dos pêlos é maior. É lícito supor que os níveis de radiação que atingiram a superfície da pele foram suficientes para determinar uma elevada estimulação

das vias de termólise evaporativa.



Raça	Equações de regressão	R ²	Sig.
Alentejana	$F_{resp} = 42,7121 - 2,1545.T_{gn} + 0,0057.T_{gn}^2$	0,93	P<0,01
Frísia	$F_{resp} = 62,1720 - 3,8089.T_{gn} + 0,0095.T_{gn}^2$	0,95	P<0,01
Limousine	$F_{resp} = 60,9676 - 3,8741.T_{gn} + 0,0090.T_{gn}^2$	0,94	P<0,01
Mertolenga	$F_{resp} = 52,4317 - 2,8649.T_{gn} + 0,0068.T_{gn}^2$	0,92	P<0,01

Fig. 5.16. Relações entre a frequência respiratória e a temperatura do globo negro



Raças	Equações de regressão	R ²	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = -631,0115 + 38,0832.T_{gn} - 0,3539.T_{gn}^2$	0,87	P<0,01
Frísia	$T_{sd} = 6325,6830 - 453,6304.T_{gn} + 10,7119.T_{gn}^2 - 0,0807.T_{gn}^3$	0,88	P<0,01
Limousine	$T_{sd} = 48,6702 + 10,3770.T_{gn} - 0,0966.T_{gn}^2$	0,36	P<0,05
Mertolenga	$T_{sd} = 46,6956 + 5,7260.T_{gn}$	0,88	P<0,01

Fig. 5.17. Relações entre a taxa de sudação e a temperatura do globo negro

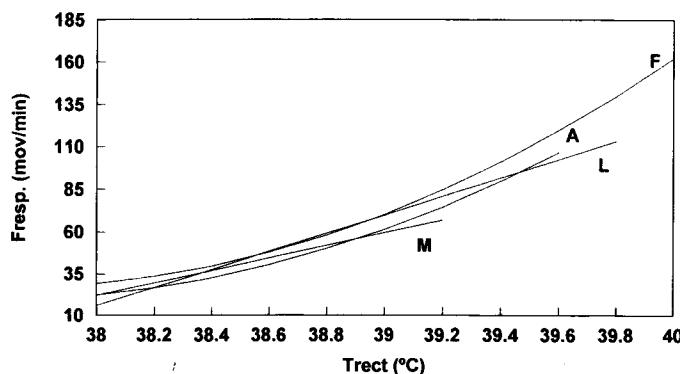
Esta situação parece ser confirmada pela relação que se verificou entre a T_{sd} e a T_{gn} . A raça Frísia após um aumento acentuado da T_{sd} exibiu uma estabilização a T_{gn} relativamente baixas. As dinâmicas registadas parecem indicar na raça Frísia uma maior latência nos incrementos da T_{sd} e eventualmente uma maior preponderância da F_{resp} a T_{gn} mais baixas. A raça Limousine apresentou incrementos bastante reduzidos e tendeu a exibir uma estabilização da T_{sd} a T_{gn} relativamente baixas. Os coeficientes de

determinação mais baixos reflectem uma maior dispersão nas respostas observadas, correspondendo a grandes diferenças entre indivíduos.

Nas raças nativas, o aumento da T_{gn} proporcionou uma progressão mais continuada da T_{sd} , com volumes superiores aos das raças exóticas. Ainda assim, parecem ocorrer comportamentos distintos entre as duas raças nativas. A raça Alentejana apresentou elevadas T_{sd} mesmo a T_{gn} relativamente baixas, parecendo verificar-se uma tendência para a estabilização da T_{sd} a partir dos 54°C. Na raça Mertolenga verificaram-se acréscimos proporcionais da T_{sd} em função do aumento da T_{gn} , não se vislumbrando qualquer indício de estabilização até aos 60°C. Estas dinâmicas algo distintas sugerem na raça Alentejana uma maior importância relativa da sudação a T_{gn} mais baixas.

A eficiência com que as vias de termólise evaporativa promovem o arrefecimento corporal pode ser diferente entre as raças. Para se compararem as eficiências das vias de termólise latente das raças de acordo com um mesmo referencial, as F_{resp} e as T_{sd} foram relacionadas com as respectivas T_{rect} (Fig. 5.18. e 5.19., respectivamente).

Todas as raças apresentaram um padrão semelhante no aumento da F_{resp} perante incrementos da T_{rect} . As relações verificadas contudo algo diferentes. A partir dos 39°C os incrementos da F_{resp} são claramente superiores na raça Frisia. Tal parece ser consequência de uma T_{sd} insuficiente para fazer face à tendência continuada dos aumentos da T_{rect} . Nas raças Alentejana e Limousine registaram-se situações intermédias, enquanto que na raça Mertolenga se constatou uma menor influência da T_{rect} nos aumentos da F_{resp} .

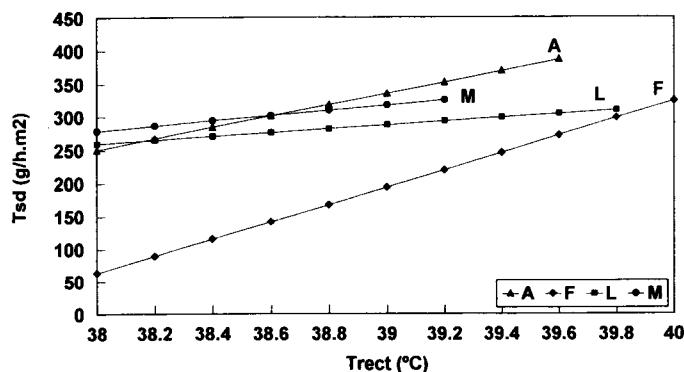


Raça	Equações de regressão	R^2	Sig.
Alentejana	$F_{resp} = 31685,24 - 1683,584 \cdot T_{rect} + 22,3774 \cdot T_{rect}^2$	0,62	$P < 0,05$
Frísia	$F_{resp} = 36029,17 - 1910,675 \cdot T_{rect} + 25,3501 \cdot T_{rect}^2$	0,83	$P < 0,01$
Limousine	$F_{resp} = -2045,65 + 54,2468 \cdot T_{rect}$	0,81	$P < 0,01$
Mertolenga	$F_{resp} = -1415,729 - 37,829 \cdot T_{rect}$	0,62	$P < 0,05$

Fig. 5.18. Relações entre a frequência respiratória e a temperatura rectal

Vários estudos salientam que a alteração da T_{rect} ocorre a temperaturas mais altas relativamente às alterações da F_{resp} , com um diferencial que pode chegar aos 3-5°C. O intervalo de tempo entre as primeiras alterações da F_{resp} e os incrementos da T_{rect} pode originar algumas dificuldades de interpretação dos resultados. Esta dessincronia é variável e está dependente do grau de aclimatação e do limiar de activação dos termosensores periféricos. Este desfasamento temporal pode exhibir valores tão dispare

quanto 30 minutos ou mais de 5 horas, estando os maiores intervalos de tempo normalmente associados a animais com maior massa (Berbigier, 1988; Hahn *et al.*, 1997).



Raças	Equações de regressão	R ²	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = -2981 + 85,0579 \cdot T_{rect}$	0,25	P>0,05
Frísia	$T_{sd} = -4896 + 130,78095 \cdot T_{rect}$	0,56	P<0,05
Limousine	$T_{sd} = -809,9281 + 28,4404 \cdot T_{rect}$	0,10	P>0,05
Mertolenga	$T_{sd} = -1224,9210 + 39,2036 \cdot T_{rect}$	0,09	P>0,05

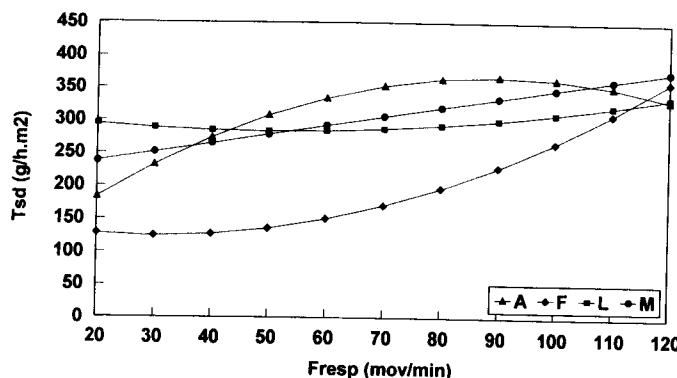
Fig. 5.19. Relações entre a taxa de sudação e a temperatura rectal

A dispersão encontrada na relação entre a T_{sd} e a T_{rect} não permite uma diferenciação inequívoca acerca das relações estabelecidas, devendo por isso serem consideradas como tendências. As causas prováveis para o elevado grau de dispersão poderão estar associadas às diferenças nas respostas dos indivíduos dentro de cada raça. Contudo, comparando com os resultados observados na experiência anterior, a heterogeneidade das respostas parece poder ser parcialmente explicada pela influência da radiação solar e por uma aclimatação mais favorável que permite uma maior distinção entre os indivíduos. A presença da radiação solar directa permite supor uma resposta antecipadora da sudação, ou seja, antes de se constatarem quaisquer aumentos da T_{rect} ter-se-ão verificado estímulos suficientemente grandes para desencadear elevadas T_{sd} , embora variáveis entre as raças. A esta maior capacidade de resposta está associada uma aclimatação às condições de Verão e ao pré-condicionamento das glândulas sudoríparas, que possibilitam respostas mais rápidas, mais intensas e com maior volume de suor (Joshi *et al.*, 1968; Berman e Morag, 1971; Murray, 1982).

A precocidade e a intensidade dessas respostas parecem ter sido diferentes entre os animais de cada raça. A raça Frísia foi a única raça que exibiu maior uniformidade na resposta mas também foi aquela que apresentou maiores aumentos da T_{rect} a T_{gn} mais baixas. A raça Limousine apresentou acréscimos pouco significativos da T_{sd} face aos aumentos da T_{rect} o que parece indicar que a sudação se iniciou a baixas temperaturas com alguma intensidade, atingindo precocemente a sua taxa máxima. Estas evoluções das T_{sd} parecem sugerir alguma inferioridade das raças Frísia e Limousine, com valores máximos inferiores aos das raças Alentejana e Mertolenga, confirmando os resultados obtidos entre a T_{sd} e a T_{gn} .

Atendendo às tendências exibidas, é possível evidenciar na raça Frísia e na raça Limousine duas situações aparentemente dissonantes. Enquanto se verifica uma estabilização da T_{sd} relativamente aos aumentos da T_{gn} , não existem indícios de estabilização quando se relacionam as T_{sd} com as T_{rect} . Esta

situação pode ter sido influenciada pelo facto das maiores T_{rect} terem ocorrido após a determinação da T_{sd} . As diferenças entre as T_{rect} obtidas no momento da determinação da T_{sd} e a T_{rect} máxima registada foram muito maiores nas raças exóticas que nas nativas, o que pode ter influenciado a relação entre estas variáveis. Na raça Alentejana a T_{sd} aumentou continuadamente perante os aumentos da F_{resp} . Na raça Mertolenga os declives exibidos pela T_{sd} são relativamente pequenos face à F_{resp} . Porém, tal parece ser consequência da maior estabilidade da T_{rect} e não propriamente devido a uma incapacidade de resposta da T_{sd} , o que parece reforçado pela ausência de quaisquer indícios de estabilização. A relação entre as vias de termólise evaporativa está representada na Fig. 5.20..



Raças	Equações de regressão	R ²	Sig.
Alentejana	$T_{sd} = 62,0773 + 6,8083.F_{resp} - 0,0796.F_{resp}^2$	0,71	P<0,05
Frísia	$T_{sd} = 151,8796 + 1,7861.F_{resp} + 0,0293F_{resp}^2$	0,88	P<0,01
Limousine	$T_{sd} = 312,6774 - 1,1386.F_{resp} + 0,1109.F_{resp}^2$	0,25	P>0,05
Mertolenga	$T_{sd} = 209,5201 + 1,3809.F_{resp}$	0,30	P>0,05

Fig. 5.20. Relações entre a taxa de sudação e a frequência respiratória

As relações entre as vias de termólise evaporativa apresentaram coeficientes de determinação baixos, limitando as ilações a retirar. No entanto, na raça Limousine verificou-se uma resposta da T_{sd} proporcionalmente inferior aos aumentos da F_{resp} , enquanto que na raça Mertolenga se observou uma relação constante entre os incrementos da T_{sd} e da F_{resp} . A raça Frísia apresentou um padrão onde predominaram elevadas F_{resp} , em que apenas numa fase sequente (coincidindo com os maiores aumentos da T_{rect}) se constatou um aumento do protagonismo da sudação. Face à aclimatação às condições de Verão, este padrão parece favorecer a ideia de uma limitada capacidade de resposta da T_{sd} . Esta situação concorda com alguns estudos realizados sob várias condições de temperatura radiante, onde são relacionadas as baixas T_{sd} com níveis variáveis de hipertermia (Collier *et al.*, 1981; Muller *et al.*, 1994; Kadzere *et al.*, 2002). Na raça Alentejana a T_{sd} exibiu uma maior protagonismo inicial e apenas mais tarde se verificou o aumento da importância relativa da F_{resp} . O padrão encontrado na raça Alentejana é referido em vários estudos em animais classificados como moderadamente tolerantes ao calor (Finch *et al.*, 1982; Berbigier, 1983; Finch, 1986; Spiers *et al.*, 1994). Dos resultados obtidos importa salientar as diferenças na eficácia das vias de termólise evaporativa na estabilidade da T_{rect} (menor na raça Frísia e maior na raça Mertolenga) e o protagonismo diferenciado entre as raças que cada uma assume à medida que aumenta a T_{gn} e a T_{rect} .

5.4. Experiência B

5.4.1. Materiais e Métodos

5.4.1.1. Esquema experimental

Durante o período em que decorreu esta experiência os animais permaneceram nos quatro parques colectivos referidos anteriormente. A dieta dos animais tanto no período que antecedeu a experiência como durante o período experimental foi constituída por feno e água *ad libitum* e ração comercial distribuída por lote totalizando 36kg, 33kg, 29kg e 26kg para as raças Alentejana, Frísia, Limousine e Mertolenga, respectivamente. O alimento foi distribuído em cada parque às 8:00h e às 15:00h.

Após a primeira distribuição do alimento o acesso à área sombreada era interdito. Os animais permaneceram livres nos parques até à hora das medições. As medições nos animais foram sempre efectuadas às 17:30h, numa manga sombreada à distância de 20 metros dos parques.

Antes da medições os animais permaneceram durante uma hora à sombra impedidos de realizar actividade física. Este período serviu para estabilizar os fluxos térmicos e para evitar variações nos fluxos de calor devidos à radiação solar e à actividade física. Foram efectuadas sete medições em cada animal.

A ordem de realização das medições nos animais foi mantida ao longo de todo o período experimental. Os dias das medições foram escolhidos, obedecendo ao critério de céu limpo e sem vento, de forma a haver um mínimo de interferências tanto na aquisição de calor durante o dia como na fase de dissipação de calor durante o final da tarde,.

5.4.1.2. Medições nos animais

A velocidade de dissipação do calor metabólico é determinante para a exibição de maior tolerância ao calor. A quantificação das variações dos isolamentos tissular e externo, determinam as diferenças na condutância global dos animais e na maior facilidade em perder calor.

A velocidade com que o calor flui do corpo pode ser medida através de discos de fluxo de calor. Relacionando os fluxos de calor medidos com os respectivos gradientes térmicos, pode estimar-se os coeficientes de resistência térmica das várias camadas relevantes na permuta de calor entre o animal e o ambiente.

Para a determinação dos isolamentos tissular e externo foram utilizados discos de fluxo de calor auto-calibráveis da marca Hukseflux® Mod. HFP01SC. A auto-calibração neste modelo baseia-se na existência de uma lâmina de aquecimento intermédia que gera localmente um determinado aquecimento que por sua vez determina um fluxo de calor conhecido. Esse valor de referência origina uma diferença de potencial, que (medida com voltímetro, marca Roline® Mod. M3660) correspondeu ao valor da voltagem de calibração. Este valor é introduzido no cálculo do fluxo de calor como valor de correção. As medições sequentes tornam-se independentes da temperatura do ar em que ocorrem e dependem apenas do gradiente térmico entre as duas faces do disco que geram a velocidade do fluxo.

Os coeficientes de resistência térmica foram determinados em duas regiões depiladas do tronco

dos animais, numa área aproximada de 50 cm². As quatro regiões escolhidas localizavam-se simetricamente a cerca de 20 cm no plano dorsal do tronco, imediatamente após a escápula e anterior à última costela. Nas áreas depiladas foram realizadas medições da espessura da pelagem com auxílio de uma craveira. As medições dos fluxos de calor na pele e na pelagem foram realizadas em simultâneo colocando um disco sob a região depilada e outro sobre a pelagem.

Simultaneamente foram registadas as T_{rect} , T_{pl} , T_{pg} e as Tar. A monitorização destas temperaturas permitiram estabelecer de forma sincrónica uma relação entre os fluxos de calor obtidos e os gradientes térmicos estabelecidos.

Cada disco de fluxo de calor da marca Hukseflux® Mod. HFP01SC foi ligado a um voltímetro da marca Roline® Mod. M3660 e os fluxos na pele e na pelagem foram registados após a estabilização dos valores dos voltímetros. Este critério originou que, entre os animais, o tempo para cada medição fosse bastante variável. As diferentes temperaturas das superfícies e os diferentes gradientes térmicos que ocorreram em cada animal determinaram diferentes velocidades de estabilização. Devido à variabilidade nas leituras dos fluxos de calor, o critério adoptado foi o registo do valor intermédio após a estabilização, isto é, quando a gama de variação da diferença de potencial registada era inferior a 0,5 mV.

O disco localizado sobre a pele permitiu inferir a velocidade do fluxo de calor entre o núcleo do corpo e a pele, sendo o coeficiente de resistência térmica tissular ou o isolamento tissular I_{tiss} [°C.m².W⁻¹] calculado a partir da equação: $Q_{pl} = (T_{rect} - T_{tpl}).I_{tiss}^{-1}$ [W.m⁻²]. O disco colocado sobre a pelagem permitiu inferir a velocidade do fluxo de calor ao longo da pelagem, sendo o coeficiente de resistência térmica externa ou isolamento externo I_{ext} [°C.m².W⁻¹] calculado a partir da equação: $Q_{plg} = (T_{pl} - T_{ar}).I_{ext}^{-1}$ [W.m⁻²]. O coeficiente de condutividade [W.m⁻².°C⁻¹] foi estimada pela equação: $Q_g = h_g.(T_{rect} - T_{ar})$. [W.m⁻²].

5.4.2. Análises Estatísticas

A planificação desta experiência teve como objectivo a comparação dos coeficientes de condutividade global (h_g), tendo em conta os isolamentos térmicos tissular (I_{tiss}) e externo (I_{ext}) das várias raças.

As variáveis dependentes foram sujeitas a análises de variância unifatorial de acordo com o modelo matemático-estatístico: $Y_{ij} = \mu + R_i + \varepsilon_{ij}$ em que Y_{ij} é o valor observado em cada variável dependente, μ é o valor médio da variável dependente, R_i é o efeito do factor fixo da Raça i-ésima e ε_{ij} é o erro aleatório ou valor residual de cada observação.

Tendo em consideração que os isolamentos térmicos e o coeficiente de condutividade térmica global variam consoante a Tar, calcularam-se para cada raça as equações de regressão tendo como variáveis dependentes os isolamentos tissular e externo e o coeficiente de condutividade e como variável independente a Tar. As equações foram ajustadas para o maior R^2 e menor erro residual, tendo como base os modelos polinomiais baseados na equação genérica: $Y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + \dots + \nu x^n$.

Os elementos foram analisados pelos programas de estatística SPSS 11.5 e NCSS 2000.

5.4.3. Resultados e discussão

5.4.3.1. Condições Experimentais

Ao longo dos dias do período experimental não foram observados comportamentos que indiciassem estresse de manuseamento. Devido ao elevado grau de condicionamento, a condução dos animais para a manga processou-se sempre de forma rápida e tranquila. Dado que o estudo visava a quantificação das velocidades de fluxo de calor endógeno, sempre que se verificaram fluxos de calor centrípetos, decorrentes da elevada temperatura radiante, esses resultados foram descartados.

A utilização de discos de fluxo de calor introduz algumas fontes de variação. Umas das questões incontornáveis refere-se à alteração das características da camada limite (pele/pelagem) devido à aposição do disco. Quando se coloca o disco sobre a pele, ele próprio sofre os efeitos da alteração das propriedades térmicas da superfície da pele, decorrentes da vasomotricidade. Esta situação pode originar a formação de curvas isotérmicas a partir da zona de junção do disco com a pele. Estas curvas podem determinar erros sistemáticos (entre 5 e 10%) na avaliação dos fluxos de calor e principalmente das resistências térmicas. Outro factor que importa considerar é a deflecção que decorre da alteração da resistência térmica aquando da colocação do disco. Todavia, este erro é mais significativo quando o disco se encontra no interior do meio que se pretende medir (Rosenberg *et al.*, 1983).

A escolha de discos de fluxo de calor auto-calibráveis reduz substancialmente estas fontes de erro, uma vez que as alterações na inércia térmica do próprio disco e as alterações da sua própria temperatura deixam de ser fontes de erro, aumentando o rigor das medições mesmo a temperaturas variáveis.

No entanto, algumas questões permanecem inultrapassáveis e devem ser tidas em consideração. A colocação dos discos sobre a pele implica a depilação da área, o que determina a alteração do ambiente onde ocorrem as transferências de calor (alterações dos gradientes térmicos e da dinâmica das permutes de calor). Por outro lado, na área da pele onde se justapõe o disco a evaporação do suor produzido realiza-se com maior dificuldade, originando um aumento do grau de hidratação entre o disco e a epiderme, com influência no coeficiente de condutividade, o que implica que estas medições tenham de ser realizadas rapidamente. Esta situação pode interferir bastante na magnitude dos fluxos de calor obtidos, sendo por isso referido que a impermeabilidade dos discos ao vapor de água é uma das maiores limitações à sua utilização (Clark *et al.*, 1973).

Quando se pretende medir as permutes de calor sensível num animal revestido por pelagem, mais ou menos espessa, assume-se que essa camada limite se comporta como uma verdadeira superfície efectiva, que a espessura é uniforme, que o fluxo de calor se transfere num plano normal e que as diferenças de temperatura dentro da camada são proporcionais aos gradientes térmicos existentes entre os limites da camada. A colocação dos discos na superfície da pelagem implica necessariamente um acréscimo de pressão na sua superfície, que se repercuta numa alteração da sua espessura, com prováveis interferências na intensidade dos processos de condução e de convecção (Clark *et al.*, 1973).

Durante o período experimental, apesar das medições simultâneas dos fluxos de calor na pele e na pelagem, o número de medições referentes aos fluxos na pele são inferiores. A causa deveu-se a uma avaria no disco de fluxo de calor que não apresentava valores de auto-calibração dentro da gama correcta. As medições foram ainda assim realizadas mas os valores resultantes apresentaram-se inequivocadamente como *outliers*, sendo portanto descartados.

5.4.3.2. Fluxos de calor e isolamentos tissular e externo

A colocação de dois discos de fluxo de calor sobre a pele e a pelagem permitiu a obtenção simultânea dos fluxos de calor na pele e na pelagem. As médias obtidas e os respectivos erros padrão estão representados nas Fig. 5.21. e 5.22.. Os valores negativos representam o sentido centrífugo do fluxo de calor.

As análises de variância não evidenciaram diferenças significativas entre as raças, tanto nos fluxos de calor na pele como na pelagem. Apesar das médias algo diferentes a ausência de diferenças pode ser explicada por duas razões: a elevada variabilidade dentro de cada raça e porque os fluxos de calor foram obtidos em dias diferentes com distintos estados de equilíbrio térmico. Contudo, apesar da ausência de diferenças significativas, parece verificar-se a tendência para fluxos de calor superiores nas raças exóticas, principalmente na raça Limousine.

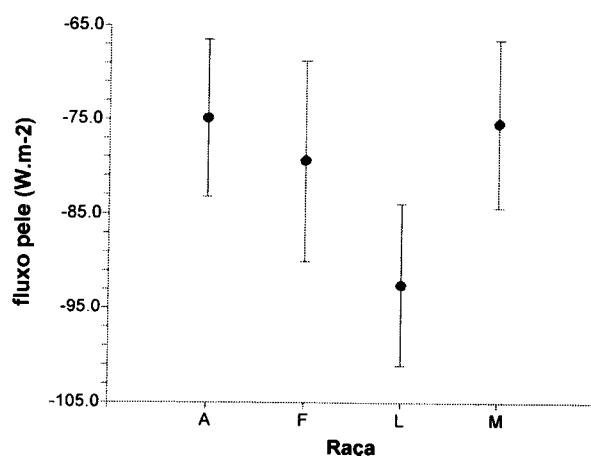


Fig 5.21. Fluxos de calor na pele e respectivos erros padrão

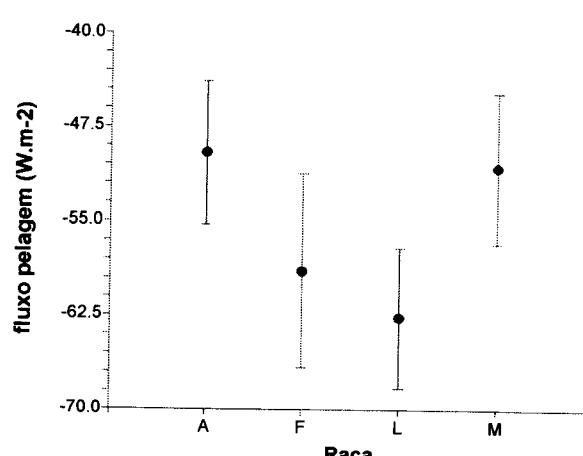


Fig. 5.22. Fluxos de calor na pelagem e respectivos erros padrão

A comparação dos fluxos de calor entre as raças ou mesmo entre indivíduos, *per si*, não apresenta uma grande relevância. Estes valores são consequência de equilíbrios térmicos diferentes, e por isso, de dinâmicas distintas de dissipação de calor.

Considerando a presença dos animais a uma mesma temperatura do ar, os fluxos de calor centrífugos estão dependentes do calor metabólico e do calor armazenado. Importa portanto contemplar os valores da temperatura nuclear como base para o estabelecimento de referenciais que vão determinar os gradientes térmicos associados às diferentes velocidades dos fluxos de calor,

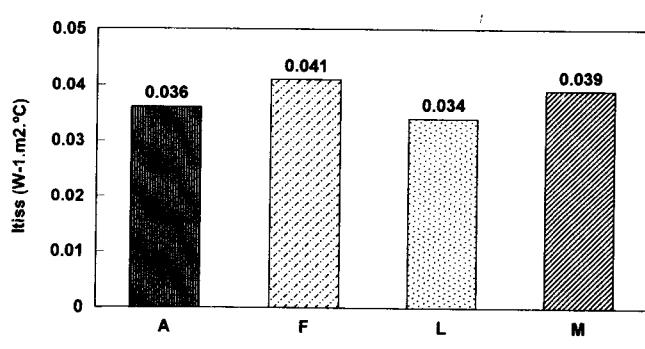


Fig. 5.23. Isolamento tissular (\bar{x})

possibilitando uma comparação mais rigorosa entre indivíduos e raças. Associando os fluxos de calor registados na pele de cada indivíduo com os respectivos gradientes térmicos ($T_{rect} - T_{pl}$), foram obtidos os valores dos isolamentos tissulares (I_{tiss}) (Fig. 5.23.).

As análises de variância não permitiram identificar diferenças significativas entre as raças. Apesar

da ausência de diferenças significativas, constatou-se a tendência para maiores médias nas raças Frisia e Mertolenga, enquanto que o menor valor foi obtido na raça Limousine.

A gama de valores registados são algo superiores aos obtidos por Finch *et al.* (1982) em câmara climática por calorimetria (entre 0,020 e 0,032 W⁻¹.m².°C). Gatenby (1986), com raças britânicas presentes em clima temperado, registou valores médios de 0,026.

As relações entre o I_{tiss} e a Tar permitiram identificar algumas diferenças entre as raças (Fig. 5.24., 5.25., 5.26. e 5.27.).

Não são muitas as referências a estudos que relacionam as alterações nos I_{tiss} ao longo de uma gama de Tar. Alguns destes estudos foram realizados em câmaras calorimétricas, em que os valores foram obtidos indirectamente através de modelos matemáticos, dificultando uma relação sincrónica entre o I_{tiss} e a Tar.

As equações de regressão evidenciaram uma diminuição generalizada do I_{tiss} perante o aumento da Tar, constatando-se alguma heterogeneidade dentro de cada raça. As razões subjacentes a esta situação podem estar associadas a diferenças na vasomotrocidade, nas Tcs ou nos níveis de armazenamentos de calor (Jenkinson *et al.*, 1978).

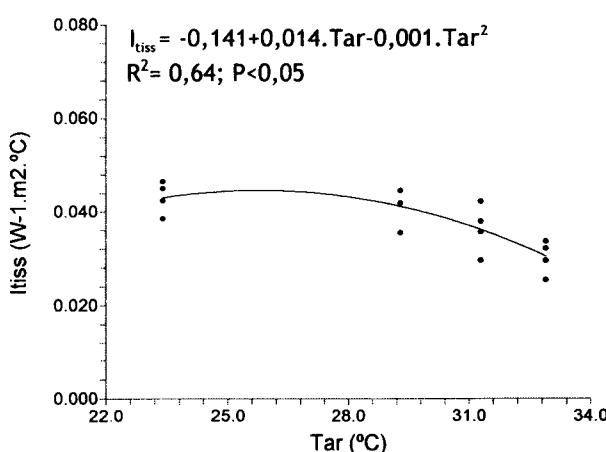


Fig. 5.24. Relação entre o isolamento tissular e a temperatura do ar - Raça Alentejana

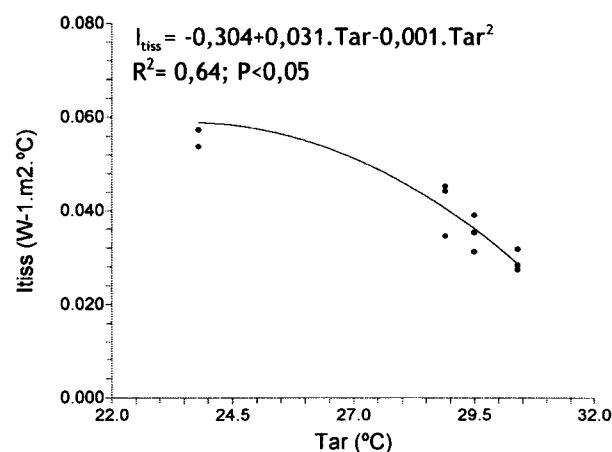


Fig. 5.25. Relação entre o isolamento tissular e a temperatura do ar - Raça Frisia

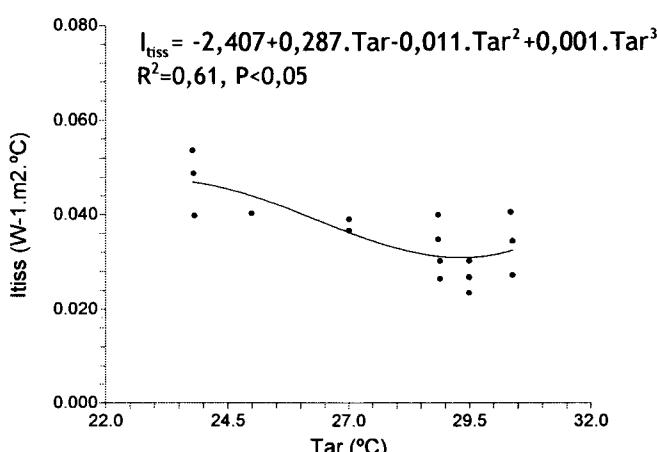


Fig. 5.26. Relação entre o isolamento tissular e a temperatura do ar - Raça Limousine

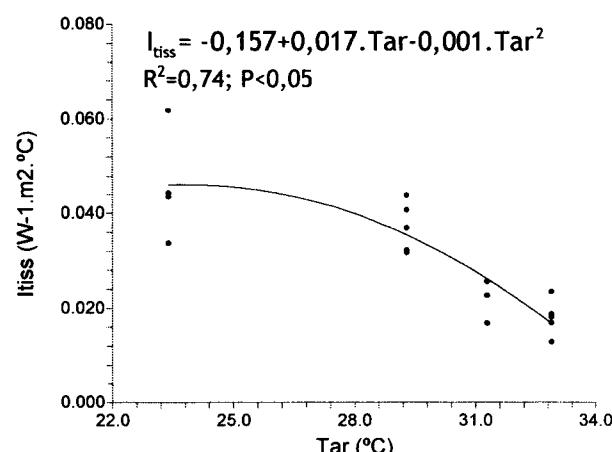


Fig. 5.27. Relação entre o isolamento tissular e a temperatura do ar - Raça Mertolenga

Aquando das medições, realizadas no final da tarde e sob condições de sombreamento, todos os animais se encontravam numa fase de recuperação do equilíbrio térmico, após um dia sujeitos à radiação solar directa. As consequências dessa permanência foram variáveis tanto entre as raças como entre os indivíduos da mesma raça, originando variáveis armazenamentos de calor. É lícito supor que os animais possam ter apresentado níveis diferenciados de desconforto térmico, que tenham originado intensidades diferentes de termólise latente e de termólise sensível. Na verdade, as diferentes T_{rect} sugerem a possibilidade de ocorrerem estímulos diferenciados no hipotálamo que se podem traduzir em respostas vasomotoras distintas (Hertzman, 1972; Young, 1985).

Das relações entre o I_{tiss} e a Tar importa salientar que nas raças Alentejana e Limousine se constataram variações bastante baixas do I_{tiss} . Mesmo perante Tar mais elevadas os decréscimos do I_{tiss} nestas raças foram pouco acentuados, sugerindo uma menor versatilidade nas alterações vasomotoras.

Na raça Frísia, a amplitude do I_{tiss} é bastante grande, devido em grande parte aos valores mínimos de I_{tiss} bastante acima das restantes. Importa salientar que, exceptuando os menores valores da raça Mertolenga, os valores mínimos do I_{tiss} foram semelhantes entre as raças. Os I_{tiss} observados na raça Mertolenga são semelhantes referidos por Gatenby (1986) ($0,012 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para animais cruzados de zebuínos presentes no Quénia. O aumento da Tar parece ter originado uma grande diminuição dos valores do I_{tiss} , o que pressupõe um re-direcccionamento sanguíneo para a periferia mais eficiente. Na verdade, a maior facilidade com que o calor metabólico se transfere do núcleo para a pele depende da quantidade de sangue que circula desde o núcleo até à periferia e do gradiente térmico estabelecido (Finch, 1985). Dado que a T_{rect} da raça Mertolenga foi inferior à das restantes raças, este menor isolamento tissular parece poder ser atribuído a um maior volume de sangue presente à periferia. Situação semelhante é referida por Finch (1986), que verificou na Austrália que os *Bos indicus* apresentavam um menor I_{tiss} que os *Bos taurus*, e que perante o aumento da Tar, apenas aqueles mantinham a mesma taxa de decréscimo do I_{tiss} . Foi sugerido que essa vantagem poderia ser atribuída questões anatómicas intrínsecas, que possibilitariam a circulação de maior volume de sangue à periferia (Hertzman, 1972). Os maiores fluxos de sangue à periferia também estimulam o aumento da T_{sd} , podendo nestas condições ocorrerem simultaneamente elevadas T_{sd} , elevados I_{tiss} , baixas T_{pl} e baixos acréscimos da T_{rect} (Finch, 1985), o que também ocorreu na raça Mertolenga.

Associando os fluxos de calor na pelagem com os respectivos gradientes térmicos, foram obtidos os valores dos isolamentos externos (Fig. 5.28.).

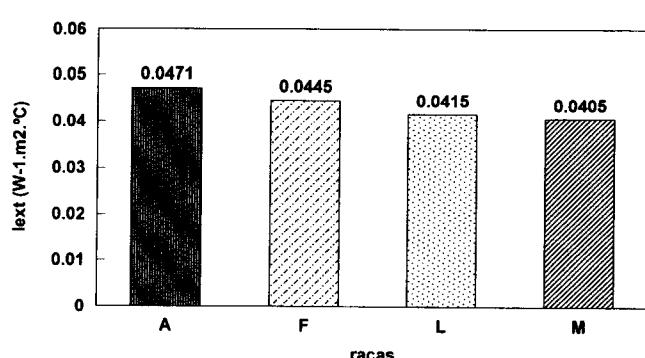


Fig. 5.28. - Isolamento externo (\bar{x})

No que respeita ao I_{ext} observou-se uma maior semelhança entre as raças, embora a variabilidade dentro de cada raça tenha sido mais acentuada.

Na generalidade, os valores observados nas várias raças são algo inferiores aos referidos por Silva (2000), que refere para as raças Ayrshire e Galloway presentes em clima temperado húmido valores entre 0,074 e 0,099.

Monteith e Unsworth (1990) referem que

um animal exposto a uma atmosfera sem vento pode apresentar valores médios de isolamento externo
146

variando entre 0,074 e 0,270 por cada centímetro de espessura de pelagem. No entanto, estes valores englobam os valores da radiação térmica que ocorre no interior da pelagem, num processo de transferência conjunta de radiação e condução. Esta diferença é tanto maior quanto maior for o gradiente térmico ao longo da espessura da pelagem. Por esta razão, Cena e Monteith (1975b) sugerem que em determinadas condições (tipo de pelagem e ambiente térmico) a convecção natural pode também apresentar relevância na transferência de calor no interior da pelagem. Porém, Davis e Birkebak (1974) sugerem que a proximidade e a contiguidade dos pêlos favorece principalmente a transferência por condução, reduzindo a importância relativa da convecção.

Os menores I_{ext} registados nas raças podem em parte ser justificados pela aclimatação sazonal, que originou pelagens menos espessas compostas por pêlos mais curtos e mais grossos (Pereira *et al.* dados não publicados). Dado que a transferência de calor através da pelagem depende essencialmente da densidade pilosa, do ângulo, do comprimento e diâmetro do pelo, e como a quantidade de calor que é conduzido pelos pêlos é maior que aquela que é conduzida pelo ar, quanto maior for a proximidade entre os pêlos e mais pontos de contacto existirem, maior será a velocidade do fluxo de calor (Cena, 1974). Tal poderá ter ocorrido em maior extensão com a raça Mertolenga que apresentou uma menor espessura de pelagem e pêlos mais curtos, grossos e com maior percentagem de medulação (Pereira *et al.* dados não publicados). Características semelhantes foram também constatadas na raça Limousine. Na raça Frísia, os maiores I_{ext} podem, em parte, ser consequência de uma pelagem composta por pêlos comparativamente mais finos e longos (pelagens mais espessas), onde são mais difíceis as permutas térmicas por condução e convecção. Atendendo às relações entre o I_{ext} e a espessura da pelagem, os elevados valores observados na raça Alentejana não são facilmente justificáveis. A baixa espessura da pelagem faria supor um I_{ext} médio algo inferior. O menor grau de medulação e o menor diâmetro dos pêlos parecem não ser suficientes para justificar os valores observados.

As relações entre o I_{ext} e a Tar permitiram identificar algumas diferenças entre as raças (Fig. 5.29, 5.30., 5.31. e 5.32.).

A dispersão nos valores obtidos não permitiu uma diferenciação inequívoca. Esta heterogeneidade nos resultados tem sido referida em alguns estudos, onde são salientadas as diferenças das características das pelagens e os respectivos reflexos no I_{ext} (Holmes, 1970; Finch, 1985). O aumento da Tar parece originar uma diminuição do I_{ext} . No entanto, os decréscimos tendem a evidenciar padrões diferentes entre as raças, com os valores mínimos mais baixos associados às raças nativas.

Quando os animais se encontram no campo, a velocidade e direcção do vento tendem a afectar em maior extensão o I_{ext} , devido à maior interferência da convecção forçada (McArthur, 1980). No entanto, com velocidade do vento abaixo de 4 m.s^{-1} a perda de calor ao longo da camada da pelagem aumenta muito lentamente. Nestas condições, a menor dependência da velocidade do vento nos fluxos de calor na pelagem vem demonstrar a preponderância da radiação e condução nos fluxos de calor que atravessam a pelagem (Gebremedhin *et al.*, 1983).

Tendo em consideração que as medições foram obtidas com ausência de vento, outros factores parecem ter influenciado a tendência para os decréscimos dos I_{ext} . Os gradientes térmicos estabelecidos entre a T_{pl} , T_{pg} e a Tar podem ter influenciado a dinâmica dos fluxos de calor na pelagem. Cena e Monteith (1975b) referem que quando se verifica um gradiente térmico mais acentuado entre a pele e a camada limite da pelagem ($T_{pl} > T_{pg}$) existem condições para um aumento da intensidade da convecção

livre dentro da pelagem, promovendo um aumento da velocidade do fluxo de calor.

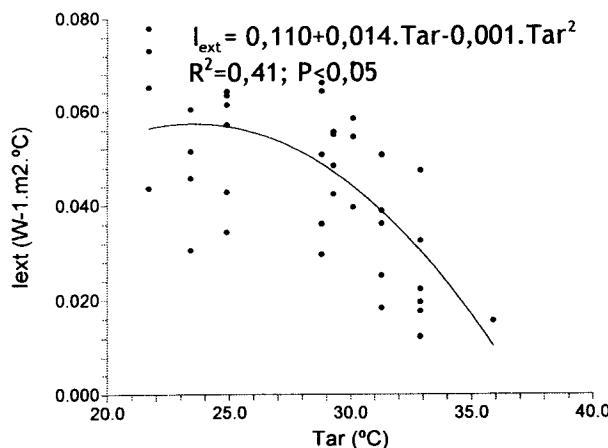


Fig. 5.29. Relação entre o isolamento externo e a temperatura do ar - Raça Alentejana

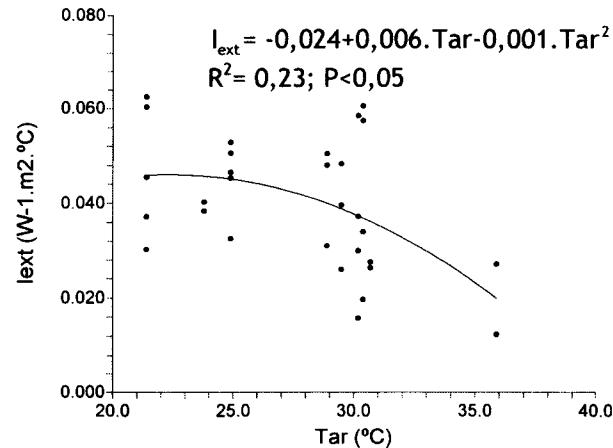


Fig. 5.30. Relação entre o isolamento externo e a temperatura do ar - Raça Frisia

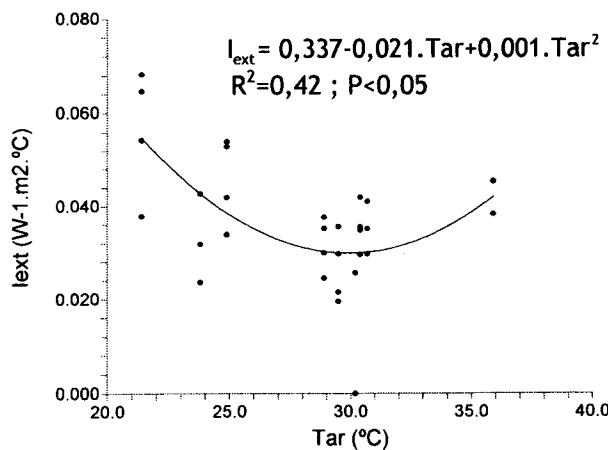


Fig. 5.31. Relação entre o isolamento externo e a temperatura do ar - Raça Limousine

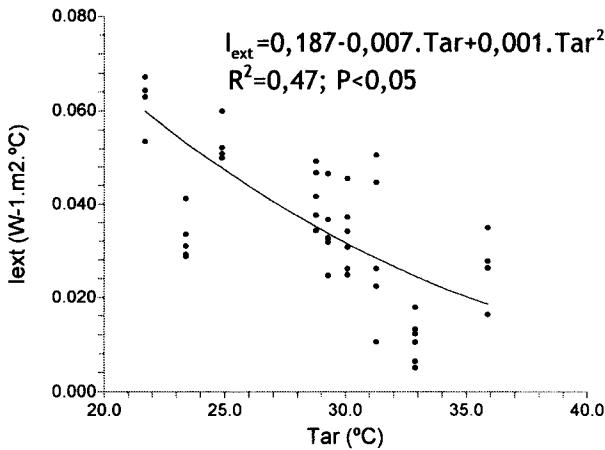


Fig. 5.32. Relação entre o isolamento externo e a temperatura do ar - Raça Mertolenga

Porém, uma situação é aquela que decorre da alteração do gradiente térmico, outra é aquela que se relaciona com a alteração do coeficiente de condutividade. Os vários autores são omissos na abordagem dos coeficientes de condutividade ao longo de Tar variáveis, realçando a complexidade da sua determinação (McArthur, 1981; Gebremedhin *et al.*, 1983; Gebremedhin e Hillman, 1993; Silva, 2000).

O I_{ext} pode apresentar algum decréscimo devido à presença de maiores quantidades de vapor de água no interior da pelagem, favorecendo dessa forma o aumento da velocidade do fluxo de calor. Estas situações tendem a ocorrer com mais frequência quando se verificam T_{sd} elevadas a Tar relativamente baixas e/ou quando as características da pelagem tendem a dificultar bastante a remoção do vapor de água (Gebremedhin e Hillman, 1993). No caso da raça Alentejana a primeira situação pode justificar em parte os decréscimos mais acentuados no I_{ext} , principalmente quando a Tar se aproximou dos 30°C.

Tendo em consideração que os isolamentos tissulares e externo interagem de forma aditiva, estabeleceu-se uma relação entre o fluxo de calor medido na pelagem e o gradiente térmico entre a T_{rect} e a Tar, obtendo-se os coeficientes de condutividade global (h_g) (Fig. 5.33.).

O hg foi influenciado significativamente pelo factor Raça, com a raça Mertolenga a exibir valores superiores às restantes, as quais apresentaram valores semelhantes entre si. Ao estabelecer o gradiente térmico entre a T_{rect} e a Tar, sem ter de permeio as T_{pl} e as T_{pg} , pode perceber-se as condições que cada animal dispõe para a dissipação do calor metabólico e do calor armazenado.

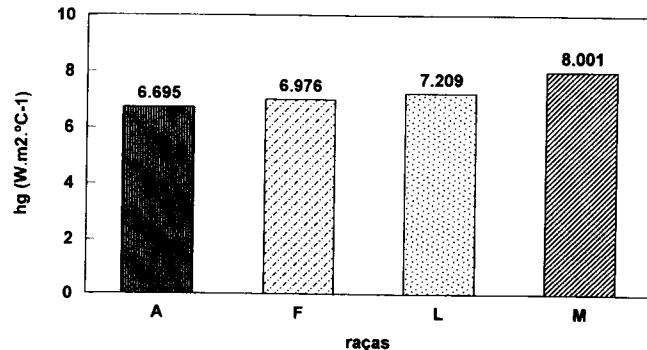


Fig. 5.33. - Coeficientes de condutividade térmica (\bar{x})

restantes. As relações entre os coeficientes de condutividade térmica global (hg) e a Tar (Fig. 5.34., 5.35., 5.36. e 5.37.) permitiram confirmar algumas diferenças entre as raças.

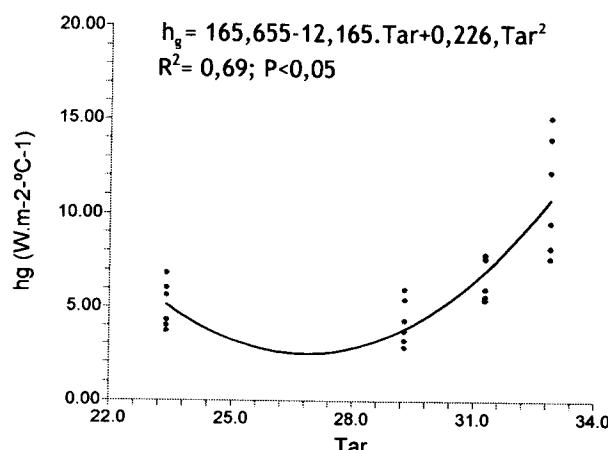


Fig. 5.34. Relação entre o coef. de condutividade e a temperatura do ar - Raça Alentejana

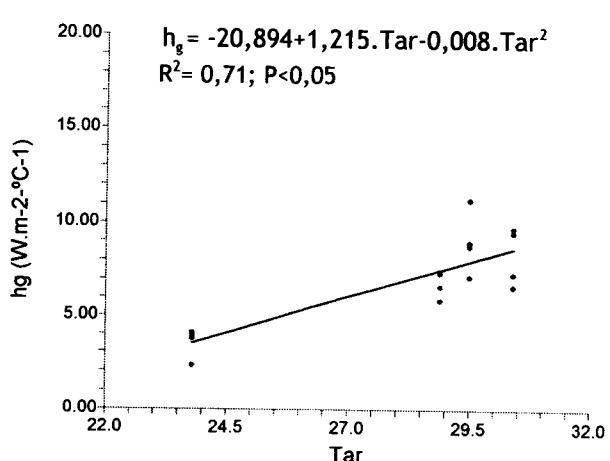


Fig. 5.35. Relação entre o coef. de condutividade e a temperatura do ar - Raça Frísia

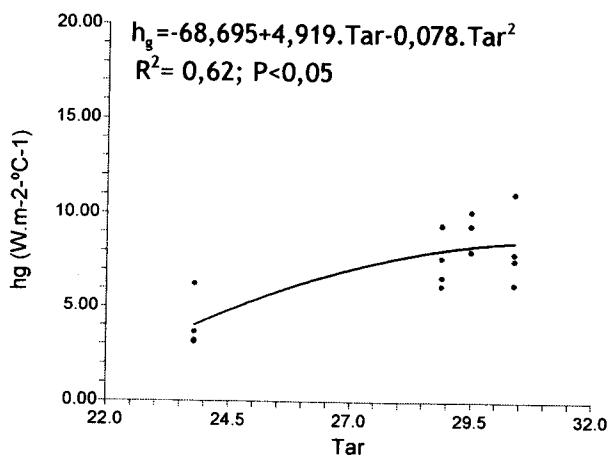


Fig. 5.36. Relação entre o coef. de condutividade e a temperatura do ar - Raça Limousine

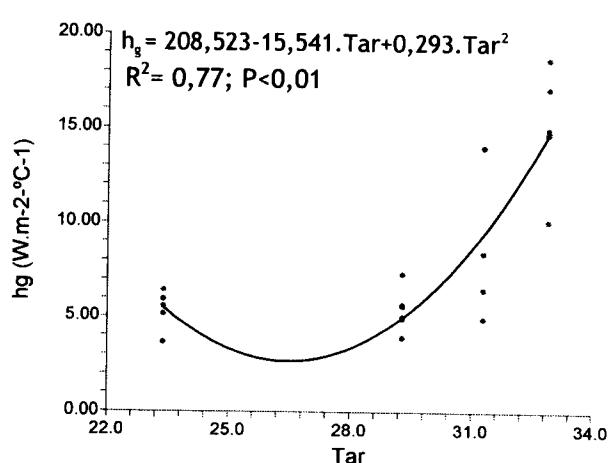


Fig. 5.37. Relação entre o coef. de condutividade e a temperatura do ar - Raça Mertolenga

As relações observadas parecem evidenciar que as raças exóticas apresentaram uma menor amplitude do hg . Face ao aumento da Tar, os hg das raças nativas apresentaram acréscimos crescentes contrastando com os das raças exóticas cujos acréscimos foram decrescentes. Esta situação revela-se menos satisfatória em condições de estresse térmico, uma vez que menor quantidade de calor sensível pode ser dissipado, sendo por isso necessário recorrer mais precocemente à termólise evaporativa (Finch, 1985).

Os hg da raça Mertolenga tenderam a apresentar os maiores acréscimos face ao aumento da Tar. Algo similar foi constatado na raça Alentejana, embora em menor extensão, eventualmente penalizado por menor velocidade dos fluxos de calor e por uma menor estabilidade da T_{rect} .

Finch (1985) constatou diferentes capacidades de dissipar calor sensível entre várias raças de *Bos taurus* e *Bos indicus*. Na raça Brahman com T_{rect} normal, com um gradiente térmico entre a T_{pl} e a Tar de 0,25°C, o calor perdido por via sensível foi 25% do total. No entanto, em animais da raça Shorthorn, mesmo com um gradiente de 2°C, a dissipação do calor metabólico foi quase exclusivamente realizada por via evaporativa. Salienta o autor, que os maiores níveis de sudação apresentados pelas raças taurinas a temperaturas mais baixas decorrem da maior dificuldade em perder calor suficiente por via sensível, devido à conjugação de gradientes térmicos mais desfavoráveis e principalmente da menor condutância intrínseca. Esta situação é frequentemente referida em vários estudos, salientando que a menor capacidade de perder calor sensível nos *Bos taurus* é um dos factores determinantes para a sua menor tolerância ao calor (Holmes, 1970; Young, 1985; Silanikove, 2000; Kadzere et al., 2002).

No entanto, as grandes diferenças observadas entre *Bos taurus* e *Bos indicus* podem resultar, em parte, das raças utilizadas e das condições em que foram obtidas. Muitos destes estudos reportam-se a comparações efectuadas sob condições de temperatura elevada e com a ausência de aclimatação ao ambiente quente. Nestes casos, as vantagens já expectáveis favoráveis aos zebuínos, tendem a exacerbar-se penalizando ainda mais os animais *Bos taurus*.

A variabilidade dos resultados obtidos neste estudo parece conduzir à ideia que as raças *Bos taurus* podem apresentar comportamento diversificado. Considerando os aspectos da aclimatação sazonal, as raças nativas apresentaram valores máximos de hg superiores às raças exóticas, sugerindo vantagens comparativas sob o ponto de vista termorregulador.

Importaria porventura efectuar as comparações com bovinos zebus (funcionando como referenciais positivos), com raças *Bos taurus* originárias dos trópicos e/ou aclimatadas e outras provenientes de clima temperado. Assim, poder-se-ia quantificar de uma forma mais rigorosa a capacidade de termólise sensível, evidenciando com mais exactidão as reais diferenças entre genótipos.

A metodologia frequentemente utilizada também tende a introduzir algumas imprecisões. A frequente utilização de metodologia calorimétrica, onde se assumem isolamentos uniformes e onde se adoptam gradientes térmicos uniformes, não contempla os diferentes armazenamentos de calor e por conseguinte os gradientes térmicos reais associados, introduzindo por isso alguns erros nas determinações. A utilização de discos de fluxo de calor permite ultrapassar esses constrangimentos, possibilitando outra versatilidade funcional e rigor nas determinações, embora apresentem algumas limitações já anteriormente referidas.

5.5. Experiência C

5.5.1. Materiais e Métodos

Esta experiência tem como base o teste de tolerância ao calor de Baccari Jr. Esta metodologia fundamenta-se na avaliação da capacidade termolítica do indivíduo a partir dos seus próprios valores de referência. Apresenta como característica fundamental a comparação das temperaturas rectais nos animais em períodos alternados de uma hora à sombra, uma hora ao sol e de novo uma hora à sombra. O índice individual de tolerância ao calor é calculado pelas diferenças entre as T_{rect} apresentadas no final do primeiro período à sombra (T_{rect1}) confrontadas com aquelas apresentadas no final do segundo período à sombra (T_{rect2}). A equação que define o índice é: $ITC = 10 \cdot (T_{rect2} - T_{rect1})$. Os animais mais tolerantes ao calor apresentam um valor mais próximo de 10, que corresponde à situação de recuperação completa. É uma metodologia fácil de aplicar em condições de campo.

As modificações nesta metodologia traduziram-se: i) no prolongamentos dos períodos de permanência ao sol e à sombra para duas horas; ii) por uma maior frequência de medições das T_{rect} (a cada 10 minutos) e iii) pela introdução do conceito de armazenamento de calor (calculado ao fim de cada hora).

As alterações efectuadas visaram uma melhor definição dos ritmos de variação da T_{rect} e dos respectivos armazenamentos de calor, tanto durante o período ao sol como no sequente à sombra. A monitorização das variações das T_{rect} pode permitir a compreensão das dinâmicas das T_{rect} e a sua relação com diferentes inércias térmicas.

Nesta experiência foram utilizados todos os animais em simultâneo. Foi realizada em oito dias diferentes, obedecendo a escolha dos dias ao critério de céu limpo e ausência de vento. Os animais foram colocados, às 10:00h, num local protegido da radiação solar. Após um repouso à sombra durante 2 horas os animais foram encaminhados para uma área descoberta, onde permaneceram durante duas horas, em repouso, e sob influência da radiação solar directa, sem acesso a água ou alimento. Após esse período, foram reencaminhados para o anterior local sombreado, permanecendo aí em repouso durante as duas horas seguintes, sem acesso a alimento ou água.

Durante os períodos em que permaneceram ao sol e no período sequente à sombra foram medidas as T_{rect} a cada 10 min. As medições nos animais foram realizadas sempre pela mesma ordem.

O equipamento e os procedimentos utilizados para a medição da T_{rect} foram similares aos descritos nas experiências anteriores.

De forma a despistar as eventuais influências das massas corporais nas variações da T_{rect} foi calculado o calor armazenado em cada hora, utilizando a equação sugerida por McGovern e Bruce (2000): $\Delta T_{rect} = (3600 \cdot C_{arm} \cdot A) / (P_v \cdot c_b)$ em que C_{arm} é o calor armazenado [$W \cdot m^{-2}$], A a superfície do animal [m^2] calculada a partir da equação: $A = 0,13 \cdot P_v^{0,556}$, P_v a massa corporal [kg] e c_b o calor específico do animal (3,4 $KJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ K^{-1}$).

5.5.2. Análises estatísticas

A planificação desta experiência apresentou como objectivo quantificar as velocidades de

aquisição e de dissipação de calor perante períodos alternados ao sol e à sombra. Para a comparação entre as raças foram calculadas as equações de regressão (para a fase ao sol e para a fase à sombra) tendo como variáveis dependentes a T_{rect} e como variável independente o intervalo de tempo em cada período. As equações foram ajustadas para o maior R^2 e menor erro residual, tendo como base modelos polinomiais, segundo a equação genérica: $Y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + \dots + \nu x^n$.

Os elementos foram analisados pelos programas de estatística SPSS 11.5 e NCSS 2000.

5.5.3. Resultados e discussão

5.5.3.1. Condições Experimentais

Durante o período experimental os animais apresentaram-se calmos e sem sinais de stresse de manuseamento. As mudanças para os locais das medições decorreram de forma tranquila, evidenciando um elevado grau de condicionamento. Nos dias das medições as condições meteorológicas apresentaram características adequadas (como céu limpo e ausência de vento).

As médias das Tar, e T_{gn} ao sol e à sombra e respectivas variações são representadas nas Fig. 5.38., 5.39. e 5.40.. As médias da Tar não foram muito elevadas, traduzindo níveis moderados de stresse térmico. Todavia, a presença da radiação solar directa, traduzida na T_{gn} , tende a aumentar significativamente os níveis de stresse, aumentando o grau de exigência dos efectores de termorregulação.

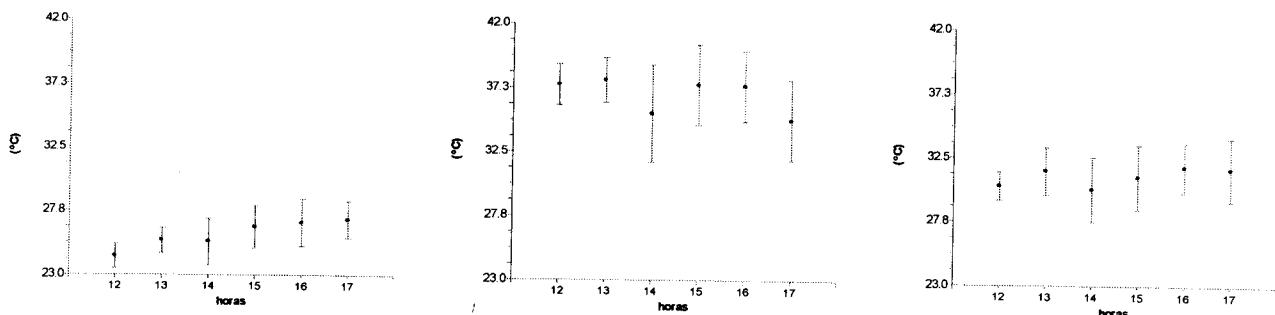


Fig. 5.38. Temperaturas do ar

Fig. 5.39. Temperaturas do globo negro ao sol

Fig. 5.40. Temperaturas do globo negro à sombra

5.5.3.2. Efeitos da alternância entre sol e sombra na temperatura rectal

As alternâncias entre o sol e a sombra originaram alterações significativas das T_{rect} . As variações médias observadas bem com as amplitudes dos valores da T_{rect} foram diferentes entre as raças (Fig. 5.41., 5.42., 5.43. e 5.44.). As amplitudes das T_{rect} apresentadas pelas raças Alentejana e Limousine são similares e intermédias relativamente às maiores amplitudes registadas na raça Frísia e às menores verificadas na raça Mertolenga.

Durante a permanência ao sol, a T_{rect} da raça Alentejana apresentou uma progressão bi-fásica, com a existência de um decréscimo intermédio. Tendência semelhante foi também apresentada pela raça Frísia, embora ocorrendo mais tarde e de forma mais atenuada.

A existência destes decréscimos durante a permanência ao sol, pode ser atribuído a um aumento da intensidade de utilização dos mecanismos termorreguladores, devido ao maior estímulo decorrente dos maiores armazenamentos de calor (Spiers *et al.*, 1994; Hahn, 1999). A raça Mertolenga apresentou menores aumentos da T_{rect} , evidenciando mesmo alguma tendência para ligeiros decréscimos ainda durante o período ao sol.

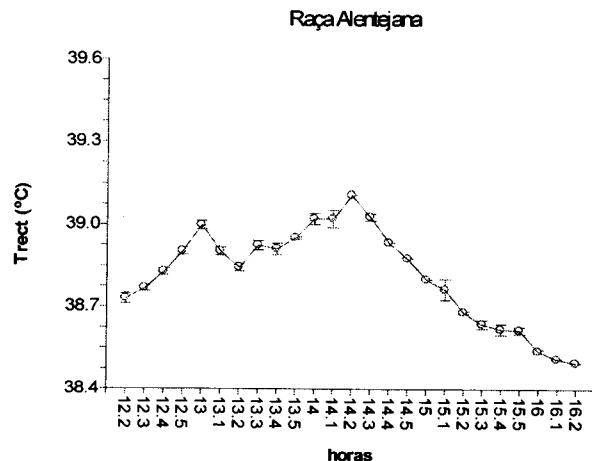


Fig. 4.41. Temperatura rectal e respectivos erros padrão durante as 4 horas

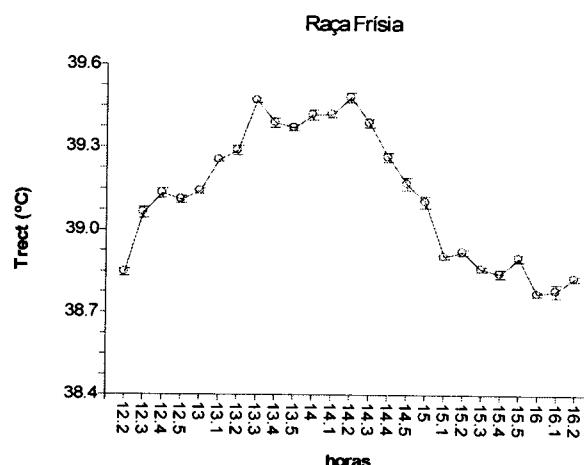


Fig. 4.42. Temperatura rectal e respectivos erros padrão durante as 4 horas

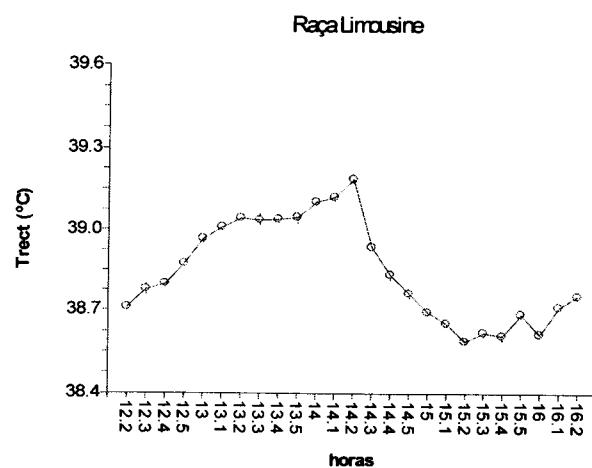


Fig. 4.43. Temperatura rectal e respectivos erros padrão durante as 4 horas

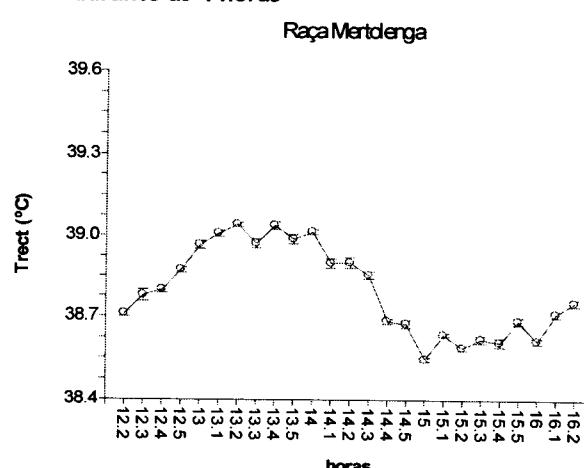


Fig. 4.44. Temperatura rectal e respectivos erros padrão durante as 4 horas

As evoluções das temperaturas rectais durante o período ao sol estão representadas Fig. 5.45., 5.46., 5.47. e 5.48..

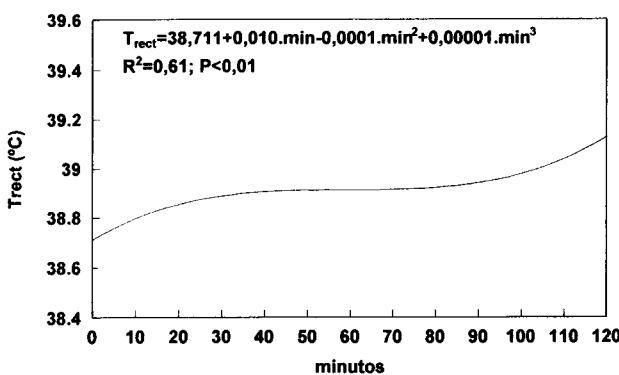
As relações parecem reflectir 3 casos distintos. Nas raças Frísia e Limousine, a T_{rect} variou de forma semelhante. Ambas as raças exibiram acréscimos decrescentes da T_{rect} ao longo de toda permanência ao sol. Apesar das tendências similares, foram notórios acréscimos superiores na raça Frísia, que se repercutiram em T_{rect} mais elevadas no final do período ao sol.

Estes resultados parecem confirmar as observações das experiências anteriores, onde se verificou uma maior incapacidade da raça Frísia em manter a estabilidade da T_{rect} , (mesmo em condições de stresse térmico agudo).

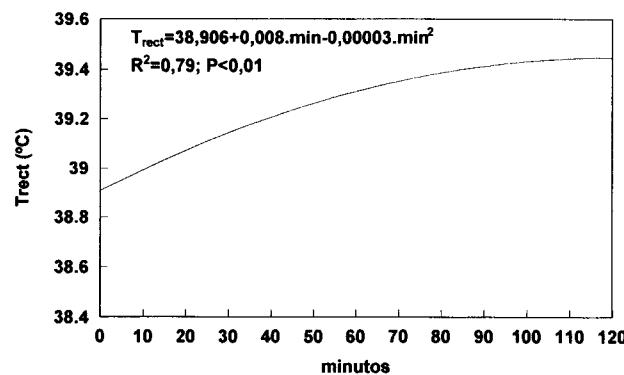
A raça Alentejana apresentou um comportamento diferente, evidenciando incrementos iniciais da T_{rect} , aos quais se seguiu uma estabilização prolongada. Após 100 minutos observou-se um novo aumento

da T_{rect} com acréscimos mais acentuados. Neste caso, parece que os mecanismos termorreguladores possibilitaram durante um maior intervalo de tempo a estabilização da T_{rect} , apenas alterada no final da permanência ao sol.

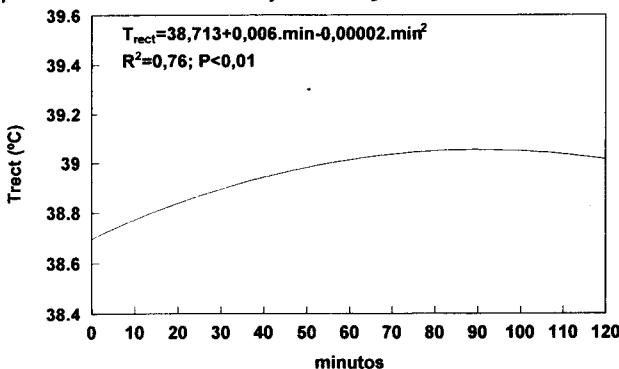
O padrão apresentado pela raça Mertolenga foi algo singular. Os acréscimos da T_{rect} foram claramente inferiores aos das restantes raças. Além disso, o aumento da intensidade do funcionamento das vias termorreguladoras determinou um decréscimo da T_{rect} após 80 minutos ao sol. Neste caso, parece registar-se uma sobre-compensação das vias termolíticas, que conduziram valores de termólise superiores ao da termogénese. Os resultados corroboram com os obtidos em experiências anteriores que evidenciaram nesta raça a eficácia dos mecanismos antecipadores de termorregulação.



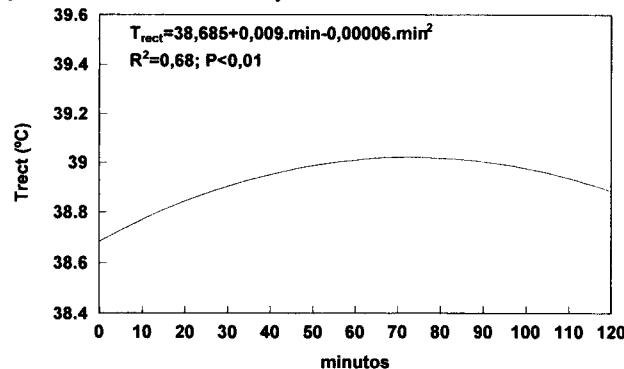
5.45. Evolução da temperatura rectal durante a permanência ao sol - raça Alentejana



5.46. Evolução da temperatura rectal durante a permanência ao sol - raça Frísia



5.47. Evolução da temperatura rectal durante a permanência ao sol - raça Limousine



5.48. Evolução da temperatura rectal durante a permanência ao sol - raça Mertolenga

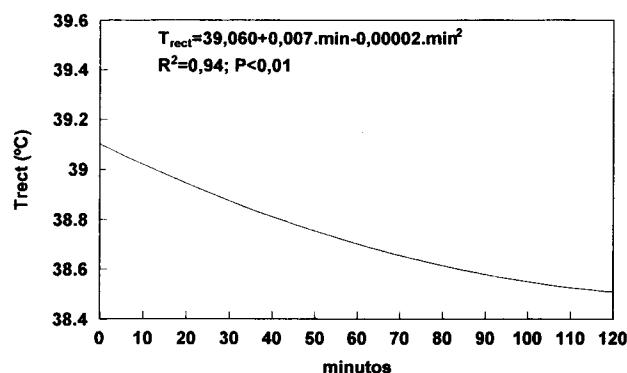
Durante o período de recuperação, sob condições de sombreamento, constatou-se uma diminuição generalizada das T_{rect} (Fig. 5.49., 5.50., 5.51 e 5.52). Todas as raças evidenciaram a capacidade de retornar aos valores iniciais das T_{rect} apresentados no primeiro período à sombra.

A capacidade de recuperação total demonstrada por todas as raças reflecte parcialmente as condições de stresse térmico moderado verificadas no período de sol. Na verdade, as T_{rect} máximas apresentadas no final do período ao sol não apresentaram diferenças muito expressivas relativamente às da sombra, impossibilitando diferenciar, de forma mais evidente, a eficiência dos processos termorreguladores entre as raças.

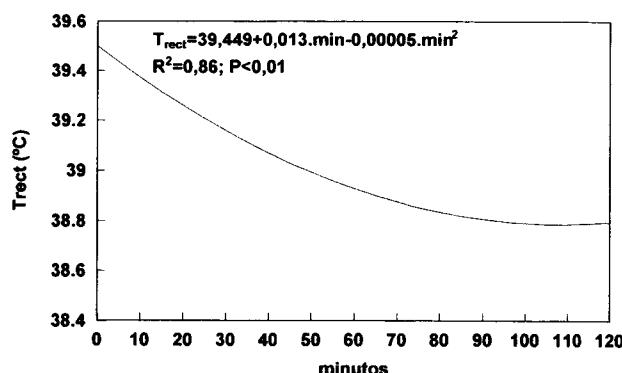
Na raça Alentejana verificaram-se decréscimos menos acentuados mas mais constantes ao longo de todo o período de sombra. A raça Frísia exibiu decréscimos da T_{rect} mais acentuados no início do período, evidenciando a tendência para uma estabilização da T_{rect} após os 80 minutos. Na raça Alentejana

os valores médios observados no final do período de sombra foram inferiores aos exibidos antes da permanência ao sol, o que não foi tão evidente na raça Frísia.

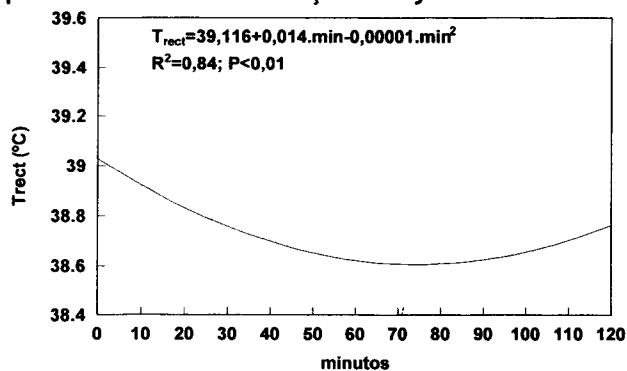
Nas raças Limousine e Mertolenga observou-se uma rápida diminuição das T_{rect} , que originou que se tivessem atingido precocemente os valores iniciais de referência. Durante o período de sombra foram evidentes tendências inequívocas para um incremento da T_{rect} . Nas condições de stresse térmico agudo os incrementos das T_{rect} podem posteriormente originar uma certa “hipotermia transitória” que decorre de um desfasamento temporal entre a elevada intensidade termolítica (que se mantém intensa para além do stresse térmico agudo), originando assim balanços térmicos instantâneos favoráveis à termólise. Estes aumentos da T_{rect} evidenciam um status térmico normalizado, onde os acréscimos verificados parecem reflectir a retoma dos valores da T_{rect} normais associados à intrínseca ritmicidade circadiana (Hahn, 1989; Leonard *et al.*, 2001), o que parece acontecer nas raças Limousine e Mertolenga.



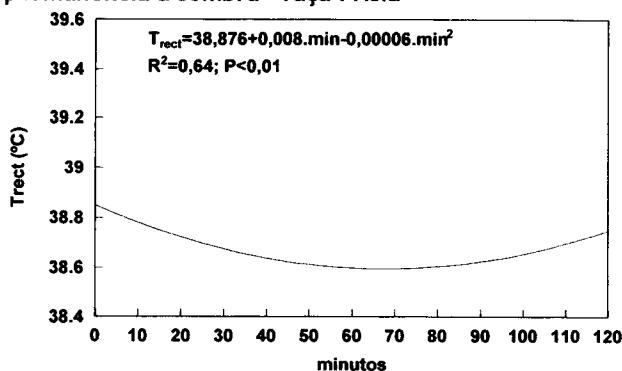
5.49. Evolução da temperatura rectal durante a permanência à sombra - raça Alentejana



5.50. Evolução da temperatura rectal durante a permanência à sombra - raça Frisia



5.51. Evolução da temperatura rectal durante a permanência à sombra - raça Limousine



5.52. Evolução da temperatura rectal durante a permanência à sombra - raça Mertolenga

Após o transitório abaixamento da T_{rect} , esta recupera para valores ligeiramente acima daqueles exibidos antes da passagem para o sol. A retoma da ritmicidade circadiana normal, reflecte um menor desconforto térmico e porventura uma acção menos penalizadora e mais transitória do stresse térmico agudo, que não chegou a alterar a dinâmica normal dos ritmos endógenos da T_{rect} (Bligh, 1998).

Tendo em conta a dinâmica das variações da T_{rect} e os factores susceptíveis de a influenciar, importa determinar a influência da inércia térmica de cada animal. Na verdade, além da eficácia dos mecanismos termorreguladores, que podem antecipar as alterações da temperatura nuclear, a massa corporal de cada animal pode diluir de forma diferenciada o calor armazenado, originando diferentes variações da T_{rect} (Spiers *et al.*, 1994).

Foi calculado para cada hora a média do calor armazenado por cada raça (Fig. 5.53.) e o calor acumulado ao longo dos períodos ao sol e à sombra (Fig. 5.54).

A variação do calor armazenado ao longo do dia, além de ser uma característica inerente aos animais de hábitos diurnos, parece ser uma vantagem para muitas espécies quando confrontadas com o estresse térmico por calor. Todavia, os animais de maior massa apresentam variações bastante reduzidas no calor armazenado, mesmo quando sujeitos a temperaturas do ar mais elevadas.

Na raça Mertolenga, apesar das pequenas variações da T_{rect} , era expectável um valor do armazenamento de calor relativamente alto fim da primeira hora ao sol, tendo em conta a relação com a massa e a superfície corporais. Nas raças de maior massa (Limousine e Alentejana) o comportamento foi algo diferente, apresentando a raça Alentejana armazenamentos de calor inferiores aos da raça Limousine. Os maiores valores da raça Frísia parecem reforçar a ideia de maior incapacidade em gerir de forma mais eficiente a aquisição de calor.

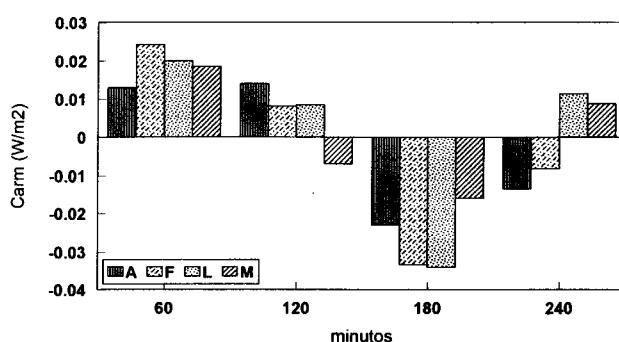


Fig. 4.53. - Calor armazenado em cada hora

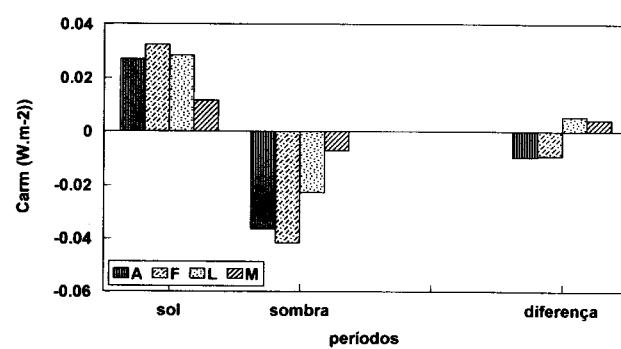


Fig. 4.54 - Calor acumulado ao sol e à sombra e o resultado líquido ao fim dos 2 períodos

Ao fim da segunda hora os cenários uniformizaram-se, salientando os valores negativos da raça Mertolenga. Neste caso, há uma clara inversão dos fluxos de calor, que se traduziu numa aproximação da T_{rect} aos valores iniciais observados à sombra. Tal como refere Bligh (1998), em determinadas condições de estresse térmico agudo, os efeitos da intensidade de funcionamento das vias termorreguladores podem prolongar-se para além do período de estresse térmico, que podem originar períodos transitórios de abaixamento da T_{rect} , que se vão atenuando até serem atingidos os valores normais.

Durante o período à sombra verificou-se que as raças que apresentaram maiores armazenamentos de calor ao sol foram também aquelas que dissiparam mais calor armazenado durante a primeira hora à sombra. Não se registaram quaisquer indícios de arrastamento das T_{rect} para além do período ao sol. Na verdade, os arrastamentos temporais referidos em vários estudos tendem a ocorrer principalmente quando se verificam grandes armazenamentos de calor conjuntamente com elevadas massas corporais (Lefcourt e Adams, 1996; Spain *et al.*, 2001), ou em casos excepcionais de situações de bradimetabolismo (Schmidt-Nielsen *et al.*, 1957; Bligh e Harthoorn, 1965;).

Na última hora, as raças Alentejana e Frísia continuaram a apresentar armazenamentos de calor negativos, contrastando com as raças Limousine e Mertolenga que retomaram os armazenamentos de calor positivos. Estas diferenças entre as dinâmicas de aquisição e de dissipação de calor originou que o balanço líquido de calor ao fim das quatro horas apresentasse valor negativo para as raças Alentejana e Frísia e positivo para as raças Limousine e Mertolenga. Estas diferenças parecem estar associadas a um maior intervalo de tempo para retomar o *status* térmico inicial e consequentemente a intrínseca ritmicidade

circadiana (Aschoff *et al.*, 1974; Lefcourt *et al.*, 1986; Lefcourt e Adams, 1996).

As razões subjacentes a estas ocorrências podem ser diferentes consoante as raças. Face ao observado nas experiências anteriores, a raça Frísia pareceu confirmar a maior dificuldade em apresentar níveis adequados de dissipação de calor face ao stresse térmico. Na raça Mertolenga confirmou-se a eficácia das vias de termólise, salientando este estudo que estas aptidões também se verificam em condições de stresse térmico agudo. Nas raças Limousine e Alentejana os resultados apresentados conjugam duas situações: a intensidade com que foram activados os mecanismos termorreguladores e a inércia térmica de cada raça. Na raça Limousine os maiores armazenamentos de calor iniciais terão desencadeado precocemente uma elevada intensidade termolítica. A manutenção da maior intensidade termolítica durante o período de sombra determinou uma rápida recuperação do *status* térmico inicial. Na raça Alentejana parece verificar-se um maior intervalo de tempo até se registarem armazenamentos de calor relevantes, o que pode ser atribuído à inércia térmica e a um desfasamento temporal entre o início do aumento da T_{rect} e os incrementos da termólise (Bligh, 1998; Refinetti, 1990). Importa considerar que nestas condições de stresse térmico agudo moderado, assume particular ênfase o comportamento adaptativo, o qual, na natureza, retira algum protagonismo inicial às vias de termólise evaporativa. A impossibilidade de recorrer a esses comportamentos implica uma maior necessidade de recorrer com maior intensidade e de forma algo extemporânea à termólise evaporativa.

Os resultados obtidos parecem evidenciar algumas diferenças nos comportamentos exibidos perante stresse térmico agudo relativamente ao stresse térmico prolongado. Contudo, apesar das dinâmicas algo diferentes na evolução da T_{rect} , as tendências apresentadas por cada raça confirmaram, na generalidade, os resultados registados nas experiência anteriores, destacando-se de forma inequívoca a maior dificuldade da raça Frísia em manter a estabilidade da T_{rect} e a eficiência dos mecanismos termolíticos da raça Mertolenga.

6. DISCUSSÃO GERAL

Os estudos de tolerância ao calor têm sido realizados em grande parte em clima tropical e incidido preferencialmente na comparação entre animais *Bos taurus* e *Bos indicus*. Subjacente aquela ênfase, está o binómio adaptabilidade e produtividade. Na verdade, associada à maior adaptabilidade característica dos zebuíños corresponde uma menor produtividade potencial. No entanto, nestes climas, os processos de aclimatização mais ou menos acentuados conduzem a que os animais *Bos taurus*, potencialmente mais produtivos, exibam progressivamente menores produtividades, por vezes inferiores às dos zebuíños. A frequente degenerescência produtiva dos *Bos taurus* quando sujeitos a ambientes quentes tem conduzido à ideia generalizada da sua baixa tolerância ao calor. Esta assunção afigura-se algo redutora e demasiadamente categórica, uma vez que a grande heterogeneidade anátomo-fisiológica e morfo-funcional dentro das raças de *Bos taurus* permite supor uma grande variabilidade na expressão dessa tolerância. Experiências preliminares permitiram evidenciar respostas diferenciadas que conduziram à hipótese de trabalho subjacente a este estudo e que determinou um delineamento experimental que permitisse identificar se as raças consideradas neste estudo apresentavam reacções fisiológicas e endócrinas suficientemente distintas face ao aumento da temperatura ambiente.

Os resultados obtidos na primeira experiência permitiram evidenciar respostas fisiológicas diferentes entre as raças nas reacções face ao aumento da temperatura, consolidando a ideia de que, entre raças de bovinos *Bos taurus*, podem verificar-se características morfo-funcionais suficientemente diferentes susceptíveis de possibilitar vantagens na tolerância ao calor.

Tendo em consideração que a tolerância ao calor advém de uma gestão mais eficiente do calor metabólico e do calor adquirido, a sequência de experiências efectuadas visou a compreensão da dinâmica dos efectores de termorregulação nas diferentes raças e a respectiva eficácia nas respostas a ambientes termicamente menos favoráveis.

Sob a influência de temperaturas elevadas, a manutenção de um balanço térmico adequado está dependente de uma menor produção de calor, de uma maior limitação à aquisição de calor e, principalmente, de uma maior facilidade em dissipar calor. Dada a impossibilidade de medir o calor metabólico nas condições experimentais utilizadas, enfatizou-se o estudo das características anátomo-fisiológicas relacionadas com a aquisição de calor e, principalmente, com as vias de termólise, as duas vertentes essenciais para a manutenção da homeotermia. Estas vertentes foram integradas numa perspectiva temporal de forma a estabelecerem-se relações sincrónicas entre as respostas de cada indivíduo e as alterações das variáveis ambientais. Na verdade, subvalorizou-se a importância das respostas fisiológicas absolutas e valorizou-se o seu enquadramento de acordo com os respectivos valores basais, e especialmente, a integração do factor tempo nas relações entre a magnitude das respostas fisiológicas e as variáveis ambientais.

A tolerância ao calor não deve por isso ser considerada como um conceito absoluto. Entre genótipos diferentes, as diferenças no potencial genético, a aclimatação e a susceptibilidade a outros factores de stresse tendem a introduzir factores de perturbação, dificultando uma comparação linear.

Em condições de stresse térmico, a relação positiva que se constata entre a produtividade ponderal e a maior capacidade de manter a homeotermia, possibilita uma abordagem indirecta da

tolerância ao calor. A monitorização da temperatura corporal em condições térmicas diferenciadas permite inferir a eficácia dos efectores de termorregulação e evidenciar os limiares das temperaturas ambiente a partir dos quais se inicia o stresse térmico.

As experiências em câmara climática, onde se controlam com maior exactidão as características do ambiente térmico, apresentam vantagens óbvias, principalmente na melhor correspondência entre as variáveis ambientais e as respostas individuais. A maior facilidade na interpretação dos resultados, é o entanto prejudicada por eventual stresse psicológico e pela ausência de radiação solar directa, que introduzem algumas perturbações. No caso presente, ficou claro que a manipulação precoce dos animais, habituando-os às pessoas e às operações a que iriam ser sujeitos, permitiu minimizar os problemas relacionados com a respectiva reactividade. Complementarmente, no delineamento das experiências a duração dos períodos de recolha de dados foi reduzida ao mínimo indispensável, de forma a conciliar o cumprimento dos objectivos definidos com a diminuição da probabilidade de ocorrência de stresse psicológico. Este objectivo foi atingido em todos os animais, evidenciado pela manutenção de níveis normais de cortisol, pela baixa reactividade às operações efectuadas e pela ausência de comportamentos estereotipados.

Os resultados observados nas várias experiências permitiram confirmar de forma inequívoca a menor tolerância ao calor da raça Frísia. Na verdade, a integração da raça Frísia neste estudo teve como objectivo principal servir de referência, devido à sua reconhecida baixa tolerância ao calor. Foi notória a sua dificuldade em manter a temperatura corporal dentro dos limites normais, mesmo em condições de stresse térmico moderado. O recurso precoce à polipneia térmica, associado aos incrementos mais ou menos acentuados da temperatura rectal, foram observados em todas as situações que envolveram aumentos da temperatura ambiente. A fraca capacidade em manter estável a sua temperatura corporal pode ser explicada através da conjugação de algumas características associadas tanto à termólise como à termogénese. A limitada taxa de sudação parece ser um dos factores determinantes na reduzida capacidade de termólise. Com efeito, perante a tendência para um consistente aumento da temperatura corporal, verificou-se uma estabilização precoce na produção de suor, configurando um cenário propício para crescentes armazenamentos de calor. O recurso precoce à intensa polipneia não evitou balanços térmicos desfavoráveis traduzidos em aumentos variáveis da temperatura corporal. Por outro lado, a pelagem espessa, composta por pêlos mais longos e finos, dificultou a termólise sensível. Porém, algumas reacções exibidas pelos animais da raça Frísia reflectiram situações algo paradoxais e que suscitam algumas interrogações. Face ao stresse térmico, e com a necessidade premente de redução da termogénese, registou-se simultaneamente a manutenção dos valores da ingestão de alimento e ainda a manutenção dos níveis das hormonas da tiróide. Tal evidencia uma aclimação com características claramente invulgares, a carecer de confirmação em estudos delineados para o efeito.

Num nível crescente de tolerância ao calor situam-se as raças Limousine e Alentejana. As duas raças mais pesadas estudadas demonstraram muitas semelhanças nas reacções ao calor, tendo apenas variado, na maioria dos casos, a magnitude das respostas.

A raça Limousine, perante a permanência sob condições de elevada temperatura, evidenciou reacções expressivas de stresse térmico, que se traduziram numa aclimação em que prevaleceram reduções da ingestão alimentar e das hormonas da tiróide. A tendência para os incrementos da temperatura corporal observados parece dever-se em grande parte à resposta insuficiente das vias de 160

termólise evaporativa. Com efeito, perante temperaturas do ar mais elevadas, os aumentos da taxa de sudação foram algo limitados, enquanto que os incrementos algo moderados da frequência respiratória não foram suficientes para suprir o défice da termólise evaporativa. Mesmo quando se registaram aumentos da temperatura rectal, os rápidos e apreciáveis acréscimos iniciais da taxa de sudação tenderam rapidamente para uma estabilização, o que, em conjunto com uma polipneia moderada, foram insuficientes para impedir crescentes armazenamentos de calor.

A raça Alentejana apresentou sintomatologia mais moderada de stresse térmico. Sob condições de elevadas temperaturas, os incrementos da temperatura rectal foram menos acentuados que na raça Limousine, apresentando menores repercussões na ingestão e no equilíbrio endócrino. A maior capacidade para manter a homeotermia parece estar relacionada em grande parte com a elevada taxa de sudação exibida. O carácter antecipador da sudação, conjugado com as elevadas quantidades de suor produzidas, evidenciaram o maior protagonismo da sudação na dinâmica da termólise evaporativa. Os valores máximos das taxas de sudação observados podem ser considerados bastante elevados para uma raça *Bos taurus*. O efeito estimulador da radiação solar salientou, ainda mais, a importância da sudação nesta raça, a qual contribuiu decisivamente para atenuar os efeitos adversos decorrentes de uma pelagem com um baixo coeficiente de reflexão (que contribuiu para balanços térmicos de radiação menos favoráveis). Contudo, foram observados valores de isolamento externo claramente superiores ao esperado, o que suscita algumas interrogações acerca das características e das propriedades da pelagem destes animais, a exigirem estudos adicionais.

A raça Mertolenga foi aquela que apresentou, em todas as condições térmicas, uma maior estabilidade da sua temperatura corporal. Este facto deveu-se à conjugação de vários factores que minimizaram o calor adquirido do ambiente e que valorizaram o calor dissipado. Com efeito, estes animais apresentaram as pelagens mais lisas e menos espessas, o que em conjunto com os elevados coeficientes de reflexão, determinaram balanços térmicos mais favoráveis. Por outro lado, a condutância global mais elevada permite supor uma maior velocidade de dissipaçāo do calor sensível, o que associado a uma elevada taxa de termólise evaporativa, permite maior facilidade na manutenção da homeotermia. Os valores da taxa de sudação observados nesta raça confirmaram uma elevada de capacidade da termólise evaporativa, principalmente em condições de radiação solar directa e quando se constataram armazenamentos de calor significativos.

Uma questão pendente refere-se à preponderância constatada da polipneia na termólise evaporativa nas experiências realizadas em câmara climática. Na verdade, face a uma larga gama de temperaturas do ar verificou-se um claro protagonismo da frequência respiratória na termólise, em simultâneo com uma ausência de armazenamentos de calor. Os incrementos na taxa de sudação só ocorreram muito mais tarde, quando se verificaram os primeiros indícios de aumentos da temperatura rectal. Este padrão contrasta com o habitualmente exibido por animais mais tolerantes ao calor, o que suscita algumas interrogações acerca das causas prováveis.

A organização das experiências permitiu a obtenção de resultados dos quais se pode inferir um escalonamento da tolerância ao calor das raças. Porém, surgem também algumas questões decorrentes de alguns resultados pouco frequentes e de difícil explicação.

Algumas das interrogações pendentes resultaram de aspectos não inteiramente contemplados no

planeamento das experiências, algumas resultantes de limitações metodológicas. O comportamento da raça Frísia na primeira experiência suscita uma reflexão acerca da relação entre a condição corporal e a sua influência na tolerância ao calor e na aclimatação. Na verdade, na natureza, a condição corporal varia ao longo do ano de acordo com as alterações na quantidade e qualidade do alimento. Até que ponto este padrão sazonal da condição corporal pode na relação que estabelece com a aclimatação influenciar a resposta termorreguladora dos animais e na tolerância ao calor, é uma questão que permanece em aberto.

Outra questão que requer uma melhor compreensão refere-se à influência do estado de aclimatação sazonal no funcionamento das vias de termólise evaporativa. Na raça Mertolenga, as diferenças nas respostas das vias de termólise evaporativa, em câmara e no campo, sugerem diferentes interacções. A estas diferenças podem estar subjacentes dois factores distintos: a radiação solar, que estimula adicionalmente as glândulas sudoríparas, e a aclimatação sazonal, que favorece o funcionamento das mesmas. Até que ponto estes dois factores podem influenciar-se mutuamente e determinar diferentes limiares de activação, intensidade de funcionamento e protagonismos relativos, nas vias de termólise evaporativa, é igualmente uma questão a estudar. Associado a esta dicotomia podem ainda estar subjacentes mecanismos diferenciados de economia hídrica que suscitam abordagens mais detalhadas.

As questões metodológicas devem ser tidas em consideração pelas limitações que impõem na integração sincrónica entre os factores de perturbação e as respostas exibidas. Porém, a maior limitação advém da impossibilidade de correlacionar os diversos tipos de variáveis com o comportamento adaptativo. Com efeito, a obtenção de respostas mais correctas acerca da tolerância ao calor, deve residir no estudo de animais em liberdade, e alicerçar-se na monitorização simultânea e continuada das alterações dos ritmos circadianos das variáveis fisiológicas, da velocidade e do sentido dos fluxos de calor, dos comportamentos adaptativos e das alterações nos parâmetros sanguíneos relevantes. A aplicação da telemetria na monitorização simultânea do comportamento, dos níveis funcionais dos efectores de termorregulação e das consequências na homeotermia, concomitante com a monitorização das variáveis meteorológicas, pode permitir avaliações mais integradas e possibilitar interpretações mais coerentes.

Importa por isso questionar se as estratégias utilizadas pelos animais na regulação da temperatura corporal (que estão subjacentes à tolerância ao calor) serão perfeitamente previsíveis e exibirão uma relação directa entre as causa e os efeitos, ou serão predominantemente manifestações caóticas modeladas por causas múltiplas produzindo efeitos mais ou menos irregulares, com uma repetição de ciclos nunca iguais mas oscilando em torno de padrão periódico e individual. Neste caso, as respostas fornecidas pelos modelos conceptuais estatísticos podem eventualmente ser algo redutoras, devendo-se porventura procurar soluções alternativas através de modelos de previsão centrados numa perspectiva temporal. Pode então perguntar-se até que ponto o equilíbrio instantâneo de um animal apresenta uma grande relevância na sua avaliação, ou se importa sobretudo agregar a esse instante o estado pregresso e perspectivá-lo para os instantes sequentes. Perante as variações do ambiente geofísico, os reajustes realizados pelo animal num determinado intervalo de tempo e a eficácia crescente com que os realizam, parecem exibir maior importância e reflectem uma maior versatilidade fisiológica e uma capacidade adicional para ultrapassar os constrangimentos ambientais. Estas abordagens mais holísticas, reflectem a necessidade da integração da fisiologia com a cronobiologia, com a física, com a matemática e mesmo com a filosofia, as quais no seu conjunto são susceptíveis de aglutinar visões mais completas e ajustadas à variabilidade a que todo o ser vivo está sujeito em cada dia, em cada estação e em cada ano. Assim,

reduzem-se as possibilidades de visões sectoriais, desconexas e desajustadas, ilustradas com um superior sentido de humor pela frase do Prof. Doutor António M. Baptista “*Compreendi tudo. Só não sei do que se trata.*”

A integração dos resultados possibilita interpretações mais coerentes e permite uma avaliação mais rigorosa dos animais e a sua melhor adequação aos diferentes tipos e intensidade dos sistemas de produção. Logo, a eficiência bioeconómica e a auto-sustentação deve basear-se no conhecimento do binómio, natureza do animal/ambiente envolvente, onde prevaleçam dinâmicas de avaliação continuadas, que visem simultaneamente a estabilidade do ecotipo e a manutenção do bem-estar animal.

7. BIBLIOGRAFIA

- Adams, D. C., Short, R. E., and Knapp, B. W. (1987). Body size and body condition effects on performance and behavior of grazing beef cows. *Nutrition Reports International* **35**, 269-277.
- Alba, J. d., and Sampaio, J. M. C. (1957). Climatic stress on tropically reared breeds of cattle. *Journal of Animal Science* **16**, 725-731.
- Allen, T. E. (1962). Responses of Zebu, Jersey, and Zebu x Jersey crossbred heifers to rising temperature, with particular reference to sweating. *Australian Journal of Agricultural Research* **13**, 165-179.
- Allen, T. E., Bennett, J. W., Donegan, S. M., and Hutchinson, J. C. D. (1970). Moisture, its accumulation and site of evaporation in the coats of sweating cattle. *Journal of Agricultural Science* **74**, 247-258.
- Alnaimy, A., Habbeb, M., Fayaz, M., Marai, M., and Kamal, T. H. (1992). Heat Stress. In "Farm Animals and the Environment" (C. Phillipis and d. Piggins, eds.), pp. 27-47. CAB International, Oxon.
- Alvarez, M. B., and Johnson, H. D. (1971). Environmental heat exposure on cattle plasma catecholamine and glucocorticoids. *Journal of Dairy Science* **56**, 189-201.
- Amakiri, S. F. (1974). Sweat gland measurements in some tropical and temperate breeds of cattle in Nigeria. *Journal of Animal Production* **18**, 285-291.
- Amakiri, S. F., and Funsho, O. N. (1979). Studies of rectal temperature, respiratory rates and heat tolerance in cattle in the humid tropics. *Animal Production* **28**, 329-335.
- Amakiri, S. F., and Hill, D. H. (1975). Hair follicle measurements in some tropical and temperate breeds of cattle in Nigeria. *Internacional Journal of Biometeorology* **19**, 115-121.
- Amakiri, S. F., and Mordi, R. (1975). The rate of cutaneous evaporation in some tropical and temperate breeds of cattle in Nigeria. *Journal of Animal Production* **20**, 63-68.
- Armstrong, D. V. (1994). Symposium: Nutrition and heat stress. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science* **77**, 2044-2050.
- Aschoff, J., Biebach, H., Heise, A., and Schmidt, T. (1974). Day-night variation in heat balance. In "Heat Loss from Animals and Man - Assessment and Control" (J. L. Monteith and L. E. Mount, eds.), pp. 147-172. Butterworths, London.
- Baccari Jr., F., Johnson, H. D., and Hahn, G. L. (1983). Environmental heat effects on growth, plasma T3, and postheat compensatory effects on Holstein calves. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* **173**, 312-318.
- Baccari Jr., F. (1998). Manejo ambiental para a produção de leite em climas quentes. In "II Congresso Brasileiro de Biometeorologia" (SBBiotem, ed.), pp. 136-161. Goiânia- DF, Brasil.
- Baccari Jr., F. (2001). "Manejo Ambiental da Vaca Leiteira em Climas Quentes," Editora UEL, Londrina.
- Badinga, L., Collier, R. J., Thatcher, W. W., and Wilcox, C. J. (1985). Effects of climate and management factors on conception rate in dairy cattle in subtropical environments. *Journal of Dairy Science* **68**, 78-85.
- Beede, D. K., and Collier, R. J. (1986). Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* **62**, 543-554.
- Bennett, I. L., Finch, V. A., and Holmes, C. R. (1985). Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behavior Science*, 227-236.
- Berbigier, P. (1983). Tolérance au climat tropical des tauroillons Frisons et Créoles soumis à plusieurs régimes alimentaires. Détermination d'un indice climatique. *Annales de Zootechnie* **32**, 383-396.
- Berbigier, P. (1985). Mesure de la Thermotolerance en Bioclimatologie Animale. In "Colloque "SAD" - Colloques de l'INRA".
- Berbigier, P. (1988). "Bioclimatologie des Ruminants Domestiques en Zone Tropicale," 1er Edition/Ed. INRA, Paris.
- Berbigier, P., Sergent, D., Sophie, S. A., Barlet, J. P., and Decoux, G. (1987). Effects of humid tropical climate on the thermoregulatory response of Limousin X Creole and Creole growing bulls in Guadeloupe (French West Indies). *Internacional Journal of Biometeorology* **31**, 65-70.
- Berbigier, P., and Sophie, S. A. (1986). Performance de croissance et d`abattage de Tauroillons Limousins x Créoles et Créoles élevés au soleil et à l'ombre en Guadeloupe (Antilles Françaises). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* **39**, 81-88.
- Berman, A. (1968). Nychthemeral and seasonal patterns of thermoregulation in cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* **19**, 181-189.
- Berman, A., and Morag, M. (1971). Nychthemeral patterns of thermoregulation in high yielding dairy cows in a hot dry near-natural climate. *Australian Journal of Agricultural Research* **22**, 671-680.
- Berman, A., and Volcani, R. (1961). Seasonal and regional variations in coat characteristics of dairy cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* **12**, 528-538.
- Bianca, W. (1961). Heat tolerance in cattle - Its concept, measurement and dependence on modifying factors. *Internacional Journal of Biometeorology* **5**, 5-30.
- Bianca, W. (1965). Reviews of the progress of dairy science. Cattle in a hot environment. *Journal of Dairy Research* **32**, 291-345.
- Bitman, J., Kahl, S., Wood, D. L., and Lefcourt, A. M. (1994). Circadian and ultradian rhythms of plasma thyroid hormone concentrations in lactating dairy cows. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative & Comparative Physiology* **36**, 1797-1803.
- Bitman, J., Lefcourt, A., Wood, D. L., and Stroud, B. (1984). Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. *J. Dairy Science* **67**, 1014-1023.
- Blackshaw, J. K., and Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **34**, 285-295.
- Bligh, J. (1967). A thesis concerning the processes of secretion and discharge of sweat. *Environmental Research* **1**, 28-45.
- Bligh, J. (1972). Neuronal models of mammalian temperature regulation. In "Essays on Temperature Regulation" (J. Bligh and R. Moore, eds.), pp. 105-120. North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Bligh, J. (1998). Mammalian Homeothermy: An Integrative Thesis. *Journal of Thermal Biology* **23**, 143-258.
- Bligh, J., and Allen, T. E. (1970). Chapter 8. A comparative consideration of the modes of evaporative heat loss from mammals. In "Physiological and Behavioral Temperature Regulation" (J. D. Hardy, A. P. Eggli and J. A. J. Stolonijk, eds.), pp. 97-107. Thomas, C.C., Springfield.
- Bligh, J., and Harthoorn, A. M. (1965). Continuous radiotelemetric records of the deep body temperature of some unrestrained african mammals under near-natural conditions. *Journal of Physiology* **176**, 145-162.
- Bligh, J., and Lampkin, G. H. (1965). A comparison of the deep-body temperature of Hereford and Zebu cows recorded continuously by radio-telemetry under similar field conditions. *Journal of Agricultural Science* **64**, 221-227.
- Blincoe, C. (1958). Environmental physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals. XLVII. The

- influence of constant ambient temperature on the thyroid activity and iodide metabolism of Shorthorn, Santa Gertrudis and Brahman calves during growth. *Research Bulletin. University of Missouri. College of Agriculture. Agricultural Experiment Station* **649**, 3-25.
- Boissy, A. (1998). Fear and Fearfulness in Determining Behavior. In "Genetics and the behavior of Domestic Animals" (T. Grandin, ed.), pp. 67-111. Academic Press, San Diego.
- Boissy, A., and Bouissou, M.-F. (1988). Effects of early handling on heifers' subsequent reactivity to humans and unfamiliar situations. *Applied Animal Behaviour Science* **20**, 259-273.
- Boissy, A., and Bouissou, M.-F. (1991). L'influence des réactions de peur sur les capacités d'adaptation des bovins à leurs conditions d'élevage - Anxiété. In "Conférence APRIA-CNEVA sur "bien-être des animaux d'élevage""", Vol. 93-3-B-427, pp. 59-68.
- Boivin, X., Le Neindre, P., Chupin, J. M., Garel, J. P., and Trillat, G. (1992). Influence of breed and early management on ease of handling and open-field behaviour of cattle. *Applied Animal Behaviour Science* **32**, 313-323.
- Bonsma, J. C. (1949). Breeding cattle for increased adaptability to tropical and subtropical environments. *Journal of Agricultural Science* **39**, 204-221.
- Brody, S. (1956). Climatic Physiology of cattle. *Journal of Dairy Science*, 715-725.
- Bruce, J. M. (1993). Interactions between the animal and its environment. In "Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism" (J. M. Forbes and J. France, eds.), pp. 495-508. CAB International.
- Burns, B., Vercoe, J. E., and Holmes, C. R. (1988). Productive and adaptative trait differences of Simmental, Hereford and Africander * Hereford cattle. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **111**, 475-480.
- Buvanendran, V., Adamu, A. M., and Ababukar, B. Y. (1992). Heat tolerance of zebu and Frisian-zebu crosses in the Guinea savanna zone of Nigeria. *Tropical Agriculture (Trinidad)* **69**, 394-396.
- Carvalheira, J. G., Blake, R. W., Pollak, E. J., and Van Soest, P. J. (1995). Comparison of Landim and Africander Cattle in southern Mozambique: I. Body weights and growth. *Journal of Animal Science* **73**, 3519-3526.
- Cena, K. (1974). Radiative heat loss from animals and man. In "Heat Loss from Animals and Man" (J. L. Monteith, ed.), pp. 33-57. Butterworths, London.
- Cena, K., and Monteith, J. L. (1975a). Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. (R. S. o. London, ed.), Vol. 188 B., pp. 377-383.
- Cena, K., and Monteith, J. L. (1975b). Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. (R. S. o. London, ed.), Vol. 188 B., pp. 395-411.
- Cena, K., and Monteith, J. L. (1975c). Transfer processes in animal coats. III. Water vapour diffusion. (R. S. o. London, ed.), Vol. 188 B., pp. 413-423.
- Chemineaur, P. (1993). Medio ambiente y reproducción animal. *World Animal Reviews* **77**, 2-14.
- Christopherson, R. J. (1984). The thermal environment and the ruminant digestive system. In "Stress Physiology in Livestock - Basic Principles" (M. K. Yousef, ed.), Vol. 1, pp. 163-187. CRC Press, Las Vegas.
- Christopherson, R. J., Gonyou, H. W., and Thompson, J. R. (1979). Effects of temperature and feed intake on plasma concentration of thyroid hormones in beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science* **59**, 655-661.
- Clark, J. A., Cena, K., and Monteith, J. L. (1973). Measurements of the local heat balance of animal coats and human clothing. *Journal of Applied Physiology* **35**, 751-754.
- Colditz, P. J., and Kellaway, R. C. (1972). The effect of diet and heat stress on feed intake, growth, and nitrogen metabolism in Friesian, F1 Brahman * Friesian, and Brahman heifers. *Australian Journal of Agricultural Research* **23**, 717-725.
- Collier, R. J., Beede, D. K., Thatcher, W. W., Israel, L. A., and Wilcox, C. J. (1982). Influences of environment and its modification on dairy animal and production. *Journal of Dairy Science* **65**, 2213-2227.
- Collier, R. J., Eley, R. M., Sharma, A. K., Pereira, R. M., and 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.
- Cooper, K. E. (1993). Animal thermoregulatory stratagems for adaptation to climatic change. In "Proceedings of the 13th International Congress of Biometeorology", pp. 99-108, Calgary, Alberta, Canada.
- Cossins, A. R., and Bowler, K. (1987). "Temperature Biology of Animals," 1st edition/Ed. Chapman and Hall, New York.
- Davis, L. B., and Birkebak, R. C. (1974). On the transfer of energy in layers of fur. *Biophysical Journal* **14**, 249-268.
- Davis, M. S., and Mader, T. L. (2001). Effects of water application to feedlot mounds during the summer. In "VI International Symposium Livestock Environment", pp. 165-172, Louisville, Kentucky.
- Degen, A. A., and Young, B. A. (1984). Effects of ingestion of warm, cold and frozen water on heat balance in cattle. *Canadian Journal of Animal Science* **64**, 73-80.
- Dowling, D. F. (1955). The hair follicle and apocrine gland populations of Zebu (*Bos Indicus L.*) and Shorthorn (*B. Taurus L.*) cattle skin. *Australian Journal of Agricultural Research* **6**, 645-654.
- Dowling, D. F. (1959). The significance of the coat in heat tolerance of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* **10**, 744-748.
- Eckert, Randall, D., Burggren, W., and French, K. (1997). "Eckert Animal Physiology - Mechanisms and Adaptation," 4 th Edition/Ed. Freeman and Company, New York.
- Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Brown-Brandy, T. M., and Spiers, D. E. (2000). Development of a new respiration rate monitor for cattle. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **43**, 723-728.
- Elder, H. Y., Jenkinson, D. M., and Montgomery, I. (1977). Structural changes in the glands during sweating in ungulates. *Journal of Physiology* **273**, 39-40.
- El-Nouty, F. D., Elbanna, I. M., Davis, T. P., and Johnson, H. D. (1980). Aldosterone and ADH response to heat and dehydration in cattle. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* **48**, 249-255.
- Elvinger, F., Narzke, R. P., and Hansen, J. (1992). Interactions of heat stress and bovine somatotropin affecting physiology and immunology of lactating cows. *Journal of Dairy Science* **75**, 449-462.
- Esmay, M. L. (1978). "Principles of Animal Environment," 1st Edition/Ed. AVI Publishing Company, Westport.
- Ewing, S. A., Lay Jr., D. C. L., and Von Borell, E. (1999). "Farm Animal well-being : stress physiology, animal behavior, environmental design," Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Ezequiel, P. A., Torres, C. A. A., Silva, J. F. C. d., Castro, A. C. G. d., Fonseca, F. A., Cardoso, R. M., and Ezequiel, J. M. B. (1989). Concentrações plasmáticas de triiodotironina (T3), tiroxina (T4) e glicose em bovídeos submetidos a diferentes dietas. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia* **18**, 375-383.
- Faure, J. M., and Mills, A. D. (1998). Improving the adaptability of Animals by selection. In "Genetics and the Behavior of Domestic Animals" (T. Grandin, ed.), pp. 235-264. Academic Press, San Diego.
- Ferguson, K. A., and Dowling, D. F. (1955). The function of cattle sweat glands. *Australian Journal of Agricultural Research* **6**, 640-644.
- Finch, V. A. (1972). Thermoregulation and heat balance of the East African eland and hartebeest. *American Journal of Physiology*

- 222, 1374-1379.
- Finch, V. A. (1985). Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. *Australian Journal of Agricultural Research* **36**, 497-508.
- 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.
- Finch, V. A., Bennett, I. L., and Holmes, C. R. (1982). Sweating response in cattle and its relation to rectal temperature, tolerance of sun and metabolic rate. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **99**, 479-487.
- Finch, V. A., Bennett, I. L., and Holmes, C. R. (1984). Coat colour in cattle: effect on thermal balance, behaviour and growth, and relationship with coat type. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **102**, 141-147.
- Findlay (1950). "The effect of temperature , Humidity Air Movement and Solar Radiation on the Behaviour and Physiology of Cattles and Other Farm Animals," The Hannah Dairy Research Institute, Glasgow.
- Findlay, J. D., and Hales, J. R. S. (1969). Hypothalamic temperature and the regulation of respiration of the Ox exposed to severe heat. *Journal of Physiology*, 651-663.
- Findlay, J. D., and Ingram, D. L. (1961). Brain temperature as a factor in the control of thermal polypnoea in the ox (Bos taurus). *Journal of Physiology* **155**, 72-85.
- Forbes, J. M. (1993). Voluntary Feed Intake. In "Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism" (J. M. Forbes and J. France, eds.), pp. 479-494. C:A:B: International, Devon.
- Frisch, J. E., and Vercoe, J. E. (1977). Food intake, eating rate, weight gains, metabolic rate and efficiency of feed utilization in *Bos Taurus* and *Bos Indicus* crossbred cattle. *Animal Production* **25**, 343-358.
- Frisch, J. E., and Vercoe, J. E. (1984). An analysis of growth of different cattle genotypes reared in different environments. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **103**, 137-153.
- Fulkerson, W. J., Sawyer, G. J., and Gow, C. B. (1980). Investigations of ultradian and circadian rhythms in the concentration of cortisol and prolactin in the plasma of dairy cattle. *Australian Journal of Biological Science* **33**, 557-561.
- Fuquay, J. W. (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* **52**, 164-174.
- Garcia, L., Rodriguez, O. N., and Planas, M. T. (1979). Estudio comparativo de la tolerancia al calor en los cruzamientos Holstein x Cebú (F1 y F2) en clima cálido-húmedo. *Revista Cubana de Ciencias Veterinarias* **10**, 143-149.
- Gatenby, R. M. (1986). Exponential relation between sweat rate and skin temperature in hot climates. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **106**, 175-183.
- Gaughan, J. B., Holt, S. M., Hahn, G. L., Mader, T. L., and Eigenberg, R. (2000). Respiration Rate - Is it a good measure of stress in cattle? *Journal of Animal Science 13 Supplement*, 329-332.
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., Josey, M. J., and Rowan, K. J. (1999). Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science* **77**, 2398-2405.
- Gebremedhin, K. G. (1985). Heat exchange between livestock and the environment. In "Stress Physiology in Livestock - Basic Principles" (M. K. Yousef, ed.), Vol. 1, pp. 15-33. CRC, Las Vegas.
- Gebremedhin, K. G., and Hillman, P. E. (1993). Partitional calorimetry for measurement of heat flux densities through dry and wet fur. In "Fourth International Symposium Livestock Environment". ASAЕ, Coventry, England.
- Gebremedhin, K. G., Porter, W. P., and Cramer, C. O. (1983). Quantitative analysis of the heat exchange through the fur layer of Holstein calves. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **26**, 188-193.
- Gilad, E., Meidan, R., Berman, A., Gruber, Y., and Wolfson, D. (1993). Effect of heat stress on tonic and GnRH-induced gonadotrophin secretion in relation to concentration of oestradiol in plasma of cyclic cows. *Journal of Reproduction and Fertility* **99**, 315-321.
- Gilbert, R. P., and Bailey, D. R. C. (1991). Hair coat characteristics and postweaning growth of Hereford and Angus cattle. *Journal of Animal Science* **69**, 498-506.
- Grandin, T., and Deesing, M. (1998). Genetics and Behavior during Handling, Restraint and Herding. In "Genetics and the Behavior of Domestic Animals" (T. Grandin, ed.), pp. 113-144. Academic Press, San Diego.
- Gutierrez de la R., J. H., Warnick, A. C., Cowley, J. J., and Hentges Jr., J. F. Environmental physiology in the sub-tropics of continuous environmental stress on some haematological values of beef cattle. *Journal of Animal Science* **32**.
- Hadley, M. E. (2000). "Endocrinology," 5th Edition/Ed. Prentice-Hall International, New Jersey.
- Hahn, G. L. (1989). Body temperature rhythms in farm animals - A review and reassessment relative to environmental influences. *Biometeorology . Supplement to International Journal of Biometeorology*, 271-283.
- Hahn, G. L. (1996). Heat stress in feedlot cattle: Heat Waves and their Relationship to Thermoregulation/Feeding Behavior. In "5 - State Beef Conference - Heat Stress in Feedlot Cattle", pp. 5-18. Cooperative Extension Services, Nebraska.
- Hahn, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* **77**, 10-20.
- Hahn, G. L., Mader, T. L., Spiers, D. E., Gaughan, J. B., Nienaber, J. A., Eigenberg, R., Brown-Brandy, T. M., Hu, Q., Griffin, D., Hungerford, L., Parkhurst, A. M., Leonard, M. J., Adams, W., and Adams, L. (2001). Heat wave impacts on feedlot cattle: considerations for improved environmental management. In "VI International Symposium Livestock Environment", pp. 129-139, Louisville, Kentucky.
- Hahn, G. L., Parkhurst, A. M., and Gaughan, J. B. (1997). Cattle respiration rate as function of ambient temperature. In "ASAE Meeting Presentation", pp. 1-21. ASAЕ, Missouri.
- Hammond, A. C., Chase, C. C., Bowers, E. J., Olson, T. A., and Randel, R. D. (1998). Heat tolerance in Tuli- Senepol-, and Brahman-sired F1 Angus heifers in Florida. *Journal of Animal Science* **76**, 1568-1577.
- Hammond, A. C., Olson, T. A., hase, C. C., Bowers, E. J., Randel, R. D., Murphy, C. N., Vogt, D. W., and Tewolde, A. (1996). Heat tolerance in two tropically adapted bos taurus breeds, senepol and romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *Journal of Animal Science* **74**, 295-303.
- Hansen, P. J. (1990). Effects of coat colour on physiological responses to solar radiation in Holsteins. Short Communications. *The Veterinary Record* **127**, 333-334.
- Hansen, P. J., and Aréchiga, C. F. (1999). Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science* **77**, 36-50.
- Head, H. H. (1989). The strategic use of the physiological potential of the dairy cow. In "Anais Simposio "Leite nos Trópicos""", pp. 38-89, Botucatu, Brasil.
- Hertzman, A. B. (1972). Regulation of cutaneous circulation during body heating. In "Temperature. Its measurement and control in science and industry" (C. M. Herzfeld, ed.), Vol. Vol.III, part III, pp. 559-570. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, N.Y.
- Hetzel, D. J. S. (1988). Comparative productivity of the Brahman and some indigenous Sanga and *Bos indicus* breeds of East and Southern Africa. *Animal Breeding Abstracts* **56**, 243-255.

- Hillman, P. E., Gebremedhin, K. G., Parkhurst, A. M., Fuquay, J. W., and Willard, S. (2001). Evaporative and convective cooling of cows in a hot and humid environment. In "VI International Symposium Livestock Environment", pp. 343-350, Louisville, Kentucky.
- Holmes, C. W. (1970). Effects of air temperature on body temperatures and sensible heat loss of friesian and Jersey calves at 12 and 76 days of age. *Animal Production* 12, 493-501.
- Hutchinson, J. C. D., and Brown, G. D. (1969). Penetration of cattle coats by radiation. *Journal of Applied Physiology* 26, 454-464.
- Ingraham, R. H., Stanley, R. W., and Wagner, W. C. (1976). 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.
- Ingram, D. L., McLean, J. A., and Whittow, G. C. (1963). The effect of heating the Hypothalamus and the skin on the rate of moisture vaporization from the skin of the ox (*Bos taurus*). *Journal of Physiology* 169, 394-403.
- Ingram, D. L., and Mount, L. E. (1975). "Man and Animals in Hot Environments," Springer-Verlag, New York.
- Irvin, R., and Trenkle, A. Influences of age, breed and sex on plasma hormones in cattle. *Journal of Animal Science* 32, 292-295.
- Jenkinson, D. M., Montgomery, I., and Elder, H. Y. (1978). Studies on the nature of the peripheral sudomotor control mechanism. *Journal of Anatomy* 125, 625-639.
- Jenkinson, D. M., and Nay, T. (1972). The sweat glands and hair follicles of European cattle. *Australian Journal of Biological Science* 25, 585-595.
- Jenkinson, D. M., and Nay, T. (1973). The sweat glands and hair follicles of Asian, African, and South American cattle. *Australian Journal of Biological Science* 26, 259-275.
- Jenkinson, D. M., and Nay, T. (1975). The sweat glands and hair follicles of different species of Bovidae. *Australian Journal of Biological Science* 28, 55-68.
- Jentsch, W., Derno, M., Lörke, H., Scholze, H., and Matthes, H.-D. (1985) Studies on thermoregulatory heat production in cattle with differing adaptive states.
- Jessen, C. (2001). "Temperature Regulation in Humans and Others Mammals," 1stEd. Springer, Berlin.
- Jessen, C., Laburn, H. P., Knight, M. H., Kuhnen, G., Goelst, K., and Mitchell, D. (1994). Blood and brain temperatures of free-ranging black wildebeest in their natural environment. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative & Comparative Physiology* 36, R1528-R1536.
- Johnson, H. D. (1985). Physiological Responses and Productivity of Cattle. In "Stress physiology in Livestock" (M. K. Yousef, ed.), Vol. II - Ungulates, pp. 3-23. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida , USA.
- Johnson, H. D., Hahn, I., Kibler, H. H., Shanklin, M. K., and Edmondson, J. E. (1967). Environmental physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals. Heat and acclimation influences on lactation of Holstein cattle. *Research Bulletin. University of Missouri. College of Agriculture. Agricultural Experiment Station* 916, 3-32.
- Johnson, H. D., Kibler, H. H., Berry, L. L., Wayman, O., and Merilan, C. P. (1966). Environmental physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals. Temperature and controlled feeding effects on lactation and related physiological reactions of cattle. *Research Bulletin. University of Missouri. College of Agriculture. Agricultural Experiment Station* 902, 2-25.
- Johnson, H. D., and Yousef, M. K. (1966). Effect of short-term fasting on thyroid-activity of cattle at various environmental temperatures. *Journal of Animal Science* 25, 1069-1075.
- Johnson, K. G. (1970). Sweating rate and the electrolyte content of skin secretions of *Bos taurus* and *Bos indicus* cross-bred cows. *Journal of Agricultural Science* 75, 397-402.
- Johnston, J. E., Hamblin, F. B., and Schrader, G. T. Factors concerned in the comparative heat tolerance of Jersey, Holstein and Red Sindhi-Holstein (F1) cattle. *Journal of Animal Science* 17, 473-479.
- Johnston, J. E., Naelapaa, H., and Frye Jr., J. B. (1963). Physiological responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi crossbred bulls exposed to high temperatures and humidities. *Journal of Animal Science*, 432-436.
- Joshi, B. C., McDowell, R. E., and Sadhu, D. P. (1968). Body surface evaporation rates at low and high temperatures for Gir and Haryana cattle. *Journal of Dairy Science* 51, 1693-1697.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating daury cows: a review. *Livestock Production Science* 77, 59-91.
- Kelly, C. F., Bond, T. E., and Ittner, N. R. (1955). Water cooling for Livestock in hot climates. *Agricultural Engeneering* 4, 173-180.
- Kibler, H. H. (1964). Environmental physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. *Research Bulletin. University of Missouri. College of Agriculture. Agricultural Experiment Station* 862, 4-40.
- Kibler, H. H., and Brody, S. (1950). Environmental physiology with special reference to domestic animal. Effects of temperature, 50° to 105° and 50° to 9° on heat production and cardiorespiratory activities in Brahman, Jersey and Holstein cows. *Research Bulletin. University of Missouri. College of agriculture. Agricultural Experiment Station* 464, 3-18.
- Kibler, H. H., and Samuel, B. (1953). Environmental physiology and shelter engineering with special reference to domestic animals. Influence of humidity on heat exchange and body temperature regulation in Jersey, Holstein, Brahman and Brown Swiss Cattle. *Research Bulletin. University of Missouri. College of Agriculture. Agricultural Experiment Station*. 522, 3-33.
- Lammoglia, M. A., Bellows, R. A., Short, R. E., Bellows, S. E., Bighorn, E. G., Stevenson, J. S., and Randel, R. D. (1997). Body temperature and endocrine interactions before and after calving beef cows. *Journal of Animal Science* 75, 2526-2534.
- Lawrence, T. L. J., and Fower, V. R. (1997). "Growth of Farm Animals," CAB International, Cambridge.
- Lee, D. H. K. (1965). Climatic stress indices for domestic animals. *Journal of Biometeor*. 9, 29-35.
- Lee, D. H. K. (1972). Large Mammals in the Desert. In "Physiological Adaptations" (M. K. Yousef, S. M. Horvath and R. W. Bullard, eds.). Academic Press, New York.
- Lefcourt, A. M., and Adams, W. R. (1996). Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *Journal of Animal Science* 74, 2633-2640.
- Lefcourt, A. M., Bitman, J., Wood, D. L., and Stroud, B. (1986). Radiotelemetry system for continuously monitoring temperature in cows. *Journal of Dairy Science* 69, 237-242.
- Legates, J. E., Farthing, B. R., Casady, R. B., and Barrada, M. S. (1991). Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. *Journal of Dairy Science* 74, 2491-2500.
- Leonard, M. J., Spiers, D. E., and Hahn, G. L. (2001). Adaptation of feedlot cattle to repeated sinusoidal heat challenge. In "VI International Symposium Livestock Environment", pp. 120-128, Louisville, Kentucky.
- Lofgreen, G. P., Givens, R. L., Morrison, S. R., and Bond, T. E. (1975). Effect of drinking water temperature on beef cattle performance. *Journal of Animal Science* 40, 223-229.
- Louw, G. N. (1993). "Physiological Animal Ecology," 3rd/Ed. Longman, Hong Kong.
- Lovegrove, B. (1999). "The Living Deserts of Southern Africa," 2nd. Edition/Ed. Fernwood Press, Vlaeberg, South Africa.

- Lowry, W. P., and Lowry II, P. P. (1989). "Fundamentals of Biometeorology - Interactions of Organisms and the Atmosphere," Peavine, McMinnville, Oregon.
- Ludri, R. S. (1985). Effect of hot-humid climate on the rectal temperature and respiration rates of lactating Sahiwal and Brown Swiss * Sahiwal crossbred cows. *Indian Journal of Animal Science* 55, 586-589.
- MacFarlane, W. V. (1968). Adaptacion de los rumiantes a los trópicos y desiertos. In "Adaptacion de los Animales domésticos" (E. Labor, ed.), pp. 304-313. Hafez, E.S.E., Barcelona, España.
- Magdub, A., Johnson, H. D., and Belyea, R. L. (1982). Effect of environmental heat and dietary fiber on thyroid physiology of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 65, 2323-2331.
- McArthur, A. J. (1980). Air movement and heat loss sheep. III - Components of insulation in a controlled environment. *Proc. R. Soc. London* 209 B, 219-237.
- McArthur, A. J. (1981). Thermal insulation and heat loss from animals. In "Environmental Aspects of Housing for Animals Production" (J. A. Clark, ed.), pp. 37-59. Butterworths, London.
- McArthur, A. J. (1987). Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theor. Biol.* 126, 203-238.
- McDowell, R. E., Matthews, C. A., Lee, D. H. K., and Fohrman, M. H. (1953). Repeatability of an experimental heat tolerance test and the influence of season. *Journal of Animal Science* 12, 757-764.
- McDowell, R. E., Moody, E. G., Van Soest, P. J., Lehmann, R. P., and Ford, G. L. (1968). Effect of Heat Stress on Energy and Water Utilization of Lactating Cows. *Journal of Dairy Science* 52, 188-194.
- McGovern, R. E., and Bruce, J. M. (2000). A model of thermal balance for cattle in hot environments. *Journal of Agricultural Engeneering Research* 77, 81-92.
- McLean, J. A. (1963a). Measurement of cutaneous moisture vaporization from cattle by ventilated capsules. *Journal of Physiology*, 417-426.
- McLean, J. A. (1963b). The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions. *Journal of Physiology* 167, 427-447.
- McLean, J. A. (1963c). The regional distribution of cutaneous moisture vaporization in the Ayrshire calf. *Journal of Agricultural Science* 61, 275-280.
- McLean, J. A. (1974). Loss of heat by evaporation. In "Heat Loss from Animals and Man" (J. L. Monteith and L. E. Mount, eds.), pp. 457. Butterworths, London.
- McNabb, F. M. A. (1995). Thyroid hormones, their activation, degradation and effects on metabolism. In conference: *Metabolic modifiers. American Institute of Nutrition*, 1773S-1776S.
- Moberg, G. P. (1987). A model for assessing the impact of behavioral stress on domestic animals. *Journal of Animal Science* 65, 1228-1235.
- Monteith, J. L., and Unsworth, M. (1990). "Principles of Environmental Physics," 2nd Edition/Ed. Edward Arnold, London.
- Morais, M. (1985). Tolerancia al calor de bovinos Holstein x Cebú. II. Efecto de la temperatura ambiental y la humedad relativa en la temperatura rectal, frecuencia respiratoria y tasa sudoral en novillas cruzadas. *Revista Cubana de Ciencias Veterinarias* 16, 193-200.
- Moran, J. B. (1973). Heat tolerance of Brahman cross, buffalo, Banteng and Shorthorn steers during exposure to sun and as a result of exercise. *Australian Journal of Agricultural Research* 24, 775-782.
- Morrison, S. R., and Lofgreen, G. P. (1979). Beef cattle response to air temperature. *Transactions of the American Society of Agricultural Engeneers* 22, 861-862.
- Mostageer, A., Obeidah, A. M., and Shafie, M. M. (1974). A statistical study of some physiological factors affecting body temperature and respiration rate in buffaloes and Friesian cattle. *Z. Tierzüchtg. Züchtgbiol.* 91, 327-333.
- Muller, C. J. C., and Botha, J. A. (1993). Effect of summer climatic conditions on different heat tolerance indicators in primiparous Friesian and Jersey cows. *South Africa Journal of Animal Science* 23, 98-103.
- Muller, C. J. C., Botha, J. A., Coetzer, W. A., and Smith, W. A. (1994a). Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. II. Physiological responses. *South African Journal of Animal Science* 24, 56-60.
- Muller, C. J. C., Botha, J. A., and Smith, W. A. (1994b). Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. I. Feed and water intake, milk production and milk composition. *South African Journal of Animal Science* 24, 49-55.
- Murray, D. M. (1966). A comparison of cutaneous evaporation rates in cattle exposed to heat in a climate laboratory and in the field. *Journal of Agricultural Science*, 66, 175-179.
- Murray, D. M. (1982). Heat tolerance of cattle - climate laboratory or field assessment? *Australian Veterinary Journal* 58, 27-28.
- Nicol, A. M., and Young, B. A. (1989). Effects of the ingestion of warm, cold and frozen food on thermal balance in cattle. *Livestock Production Science* 23, 107-115.
- O'Kelly, J. C., and Spiers, W. G. (1994). Thyroid hormone concentrations in the plasma of fed and fasted brahman and hereford steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34, 439-442.
- Patel, A. N., Dave, A. D., Patel, K. S., and Patel, J. P. (1985). Comparative study of physiological responses of Kankrej * Jersey (F1) and Kankrej * Holstein Friesian (F1) calves. *Indian Journal of Dairy Science* 38, 174-177.
- Post, T. B. (1965). Thyroid secretion rates in grazing british and zebu cross-bred steers: seasonal effects and relationships with growth. *Australian Journal of Agricultural Research* 16, 229-241.
- Pratt, B. R. (1986). The effect of environmental temperature on concentrations of thyroxine and triiodothyronine after tirotropin releasing hormone in steers. *Journal of Animal Science* 62, 1346-1352.
- Purwanto, B. P., Harada, M., and Yamamoto, S. (1996). Effect of drinking-water temperature on heat balance and thermoregulatory responses in dairy heifers. *Australian Journal of Agricultural Research* 47, 505-512.
- Rajaratne, A. A. J., Ranawana, S. S. E., Tilakaratne, N., and Srikanthakumar, A. (1983). Comparative tolerance of hot-humid climatic conditions by three species (*Bos Taurus*, *Bos Indicus* and *Bubalus Bubalis*) of bovidae. *Sri Lanka Veterinary Journal* 31, 21-26.
- Refinetti, R. (1990). Is there modal opponency in the thermal senses? *Journal of Therm. Biol.* 15, 255-258.
- Rhoad, A. O. (1935). The dairy cow in the tropics. *Proc. American Society of Animal Production* 28, 212-214.
- Richards, J. I. (1985). Milk production of Friesian cows subjected to high daytime temperatures when allowed food either *ad lib* or at night-time only. *Tropical Animal Health and Production* 17, 141-152.
- Riis, P. M. (1983). Adaptation of Metabolism to Various Conditions: Nutritional and Other Environmental Conditions. In "Dynamic Biochemistry of Animal Production" (P. M. Riis, ed.), Vol. A3, World Animal Science, pp. 319-358. Elsevier, Amsterdam.
- Robertshaw, D. (1985). Heat loss of cattle. In "Stress Physiology of Livestock" (M. K. Yousef, ed.), Vol. 1, Basic Principles, pp. 55-65. CRC Press, Inc., Boca Raton.

- Robertshaw, D. (1986). Physical and physiological principles of adaptation of animals to the tropics. In "I Simposio de Bioclimatologia Animal nos Trópicos", pp. 87-94, Fortaleza.
- Roman-Ponce, H., Thatcher, W. W., Buffington, D. E., Wilcox, C. J., and Van Horn, H. H. (1976). 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., Gaton, D., Barron, D. H., and Wilcox, G. J. (1978). Thermal stress effects on uterine blood flow in dairy cows. *Journal of Animal Science* **46**, 175-180.
- Rometsch, M., Roser, U., K., B., and Susebeth, A. (1997). Heart rate and respiratory adjustments during work of increasing intensity in winter waelder and zebu oxen. *Journal of Animal Science* **64**, 233-238.
- Rosenberg, L. J., Blad, B. L., and Verma, S. B. (1983). Human and animal biometeorology - Chapter 12. In "Microclimate - The biological environment" (I. John Wiley & Sons, ed.), pp. 425-467, New York.
- Santiesteban, J. A. M., Espinosa, J., and Morais, M. (1984). Estudio de la tolerancia al calor de terneros 5/8 holstein x 3/8 Cebú e 3/4 holstein x 1/4 Cebú, em dos épocas diferentes (seca y lluvia). *Revista Cubana de Ciencias Veterinarias* **15**, 191-199.
- Schleger, A. V. (1966). Relationship between cyclic changes in the hair follicle and sweat gland size in cattle. *Australian Journal of Biological Science* **19**, 607-617.
- Schleger, A. V. (1967). Relationship of coat type and colour to milk production in australian Illawara shorthorn dairy cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* **18**, 539-547.
- Schleger, A. V., and Bean, K. G. (1971). Factors determining sweating competence of cattle skin. *Australian Journal of Biological Science* **24**, 1291-1300.
- Schleger, A. V., and Turner, H. G. (1965). Sweating rates of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. *Australian Journal of Agricultural Research* **16**, 92-106.
- Schmidt, P. J., Yeates, N. T., and Murray, D. M. (1980). The effect of water restriction on some physiological responses of steers during enforced exercise in a warm environment. *Australian Journal of Agricultural Research* **31**, 409-416.
- Schmidt-Nielsen, K. (1995). "Scaling - Why is Animal Size so Important?", 1st Edition/Ed. Cambridge University Press, Melbourne.
- Schmidt-Nielsen, K. (1997). "Animal Physiology - Adaptation and Environment," 5th Edition/Ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Schmidt-Nielsen, K., Schmidt-Nielsen, B., Jarnum, S. A., and Houpt, T. R. (1957). Body temperatures of the Camel and its relation to water economy. *American Journal of Physiology* **188**, 103-112.
- Schneider, P. L., Beede, D. K., and Wilcox, C. J. (1988). Nyctohemeral patterns of acid-base status, mineral concentrations and digestive function of lactating cows in natural or chamber heat stress environments. *Journal of Animal Science* **66**, 112-125.
- Seif, S. M., Johnson, H. D., and Hann, L. (1972). Environmental heat and partial water restriction effects on body fluid spaces, water loss, body temperature, and metabolism of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* **56**, 581-586.
- Selye, H. (1975). The stress of life. In "Stress without distress" (N. A. Library, ed.), pp. 11-51, New York.
- Silanikove, N. (1992). Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livestock Production Science* **30**, 175-194.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants - a review. *Livestock Production Science* **67**, 1-18.
- Silva, R. G. (1998). Estimação do balanço térmico por radiação em vacas Holandesas ao sol e à sombra. In "II Congresso Brasileiro de Biometeorologia" (SBBiomet, ed.), Goiania-DF, Brasil.
- Silva, R. G. (2000). "Introdução à Bioclimatologia Animal," Nobel, São Paulo.
- Silva, R. G., Arantes-Neto, J. G., and Heltz-Filho, S. V. (1988). Genetic aspects of variation of the sweating rate and coat characteristics of Jersey Cattle. *Revista Brasileira de Genética* **11**, 335-347.
- Singh, K., and Bhattacharyya, N. K. (1991). Thermosensitivity of *Bos Indicus* cattle and their F1 crosses with three breeds of *Bos Taurus*. *Animal Production* **52**, 57-65.
- Singh, S. P., and Newton, W. M. (1978a). Acclimation of young calves to high temperatures: composition of blood and skin secretions. *American Journal of Veterinary Research* **39**, 799-801.
- Singh, S. P., and Newton, W. M. (1978b). Acclimation of young calves to high temperatures: physiologic responses. *American Journal of Veterinary Research* **39**, 795-797.
- Spain, J. N., Spiers, D. E., and Sampson, J. D. (2001). A study to compare nighttime cooling strategies on commercial dairy. In "VI International Symposium Livestock Environment", pp. 41-44, Louisville, Kentucky.
- Spiers, D. E., Vogt, D. W., Johnson, H. D., Garner, G. B., and Murphy, C. N. (1994). Heat-stress responses of temperate and tropical breeds of *Bos Taurus* cattle. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* **2**, 41-52.
- Sprinkle, J. E., Holloway, J. W., Warrington, B. G., Ellis, W. C., Stuth, J. W., Forbes, T. D. A., and Greene, L. W. (2000). Digesta kinetics, energy intake, grazing behavior and body temperature of grazing beef cattle differing in adaptation to heat. *Journal of Animal Science* **78**, 1608-1624.
- Stafford-Smith, D. M., Noble, I. R., and Jones, G. K. (1985). A heat balance model for sheep and its use to predict shade-seeking behaviour in hot conditions. *Journal of Applied Ecology* **22**, 753-774.
- Taneja, G. C. (1959a). Sweating in cattle - I Cutaneous evaporative losses in calves and its relationship with respiratory evaporative loss and skin and rectal temperatures. *Journal of Agricultural Science* **52**, 50-61.
- Taneja, G. C. (1959b). Sweating in cattle. II- Cutaneous evaporative loss measured from limited areas and its relationship with skin, rectal, and air temperatures. *Journal of Agricultural Science* **52**, 50-61.
- Taneja, G. C. (1960). Sweating in cattle. VI. Density of sweat glands and its relationship with cutaneous evaporation. *Journal of Agricultural Science* **55**, 109-110.
- Taylor, C. R. (1970). Dehydration and heat: effects on temperature regulation of East African ungulates. *American Journal of Physiology* **219**, 1136-1139.
- Thatcher, W. W. (1989). Reproductive management of lactating dairy cows in sub-tropical climates: concepts related to superovulation, embryo transfer and heat stress. In "Anais Simpósio "Leite nos Trópicos", pp. 111-123, Botucatu, Brasil.
- Thompson, J. A., Brimacombe, M., Calvin, J. A., Tomaszewski, M. A., Davidson, T. J., and Magee, D. D. (1999). Effects of environmental management on seasonal decrease in milk production in dairy cattle. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **24**, 85-88.
- Titto, E. A. L., Pereira, A. F., Passini, R., Balieiro Neto, G., Fagundes, A. C. A., and Lima, C. G. (1998). Estudo da tolerância ao calor de touros das raças Marchigiana, Nelore e Simmental. In "II Congresso Brasileiro de Biometeorologia" (SBBiomet, ed.), pp. 361-366, Goiânia-DF, Brasil.
- Turner, H. G. (1982). Genetic variation of rectal temperature in cows and its relationship to fertility. *Animal Production* **35**, 401-412.
- Turner, H. G. (1984). Variation in rectal temperature of cattle in a tropical environment and its relation to growth rate. *Animal Production* **38**, 417-427.

- Turner, H. G., and Schleger, A. V. (1960). The significance of coat type in cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 11, 645-663.
- Turner, L. W., Loewer, O. J., Gay, N., Muntifering, R., and Taul, K. L. (1984). Physiological response of beef steers to high-temperature environment. In "Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers", pp. 1-13, New Orleans, Louisiana.
- Turpenny, J. R., McArthur, A. J., Clark, J. A., and Wathes, C. M. (2000). Thermal balance of livestock. 1 - A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology* 101, 15-27.
- Udo, H. M. (1978). Hair coat characteristics in Frisian heifers in the Netherlands and Kenya, University of Wageningen, Wageningen.
- Underwood, A. J. (1998). "Experiments in Ecology," 1st/Ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Webb, P. (1997). Continous measurements of heat loss and heat production and the hypothesis of heat regulation. In "Annals of the New York Academy of Sciences; 10th International Symposium on the Pharmacology of Thermoregulation" (C. M. Blatteis, ed.), Vol. 813. New York Academy of Sciences, Memphis, Tennessee, USA.
- Webster, A. J. F. (1983). Environmental stress and the physiology performance and health of ruminants. *Journal of Animal science* 57, 1584-1593.
- Webster, A. J. F. (1988). Comparative aspects of the energy exchange. In "Comparative Nutrition" (K. Blaxter and I. McDonald, eds.), pp. 37-54. John Liberry.
- West, J. W. (1999). Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science* 77, 21-35.
- Whittow, G. C. (1962). The significance of the extremities of the ox (*Bos taurus*) in the thermoregulation. *Journal of Agricultural Science* 58, 109-120.
- Wilson, R. T. (1989). "Ecophysiology of the Camelidae and Desert Ruminants," 1st./Ed. Springer-Verlag, Umberleigh.
- Wise, M. E., Armstrong, D. V., Huber, J. T., Hunter, R., and Wiersma, F. (1988). Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *Journal of Dairy Science* 71, 2480-2485.
- Yamamoto, S., Young, B. A., Purwanto, B. P., Nakamasu, F., and Matsumoto, T. (1994). Effect of solar radiation on the heat load of dairy heifers. *Australian Journal of Agricultural Research* 45, 1741-1749.
- Yeates, N. T. M. (1977). The coat and heat retencion in cattle: studies in the tropical maritime climate of Fiji. *Journal of Agricultural Science* 88, 223-226.
- Young, B. A. (1985). Physiological responses and adaptations of cattle. In "Stress Physiology of Livestock" (B. A. Young, ed.), Vol. 2 - Ungulates, pp. 101-109. CRC Press, Boca Raton.
- Young, B. A., and Degen, A. A. (1981). Thermal influences on ruminants. In "Environmental Aspects of Housing for Animal Production" (J. A. Clark, ed.), pp. 167-179. Butterworths, London.
- Young, B. A., McLean, J., and Weingardt, R. Diurnal variations in body heat content of cattle.
- Yousef, M. K. (1985a). Stress Physiology: Definition and Terminology. In "Stress Physiology of Livestock. Vol. 1 Basic Principles" (M. K. Yousef, ed.), Vol. 1, pp. 1-7. CRC Press, Boca Raton.
- Yousef, M. K. (1985b). Thermoneutral Zone. In "Stress Physiology of Livestock. Vol. 1 Basic Principles" (M. K. Yousef, ed.), Vol. 1, pp. 67-74. CRC Press, Boca Raton.
- Yousef, M. K., and Johnson, H. D. (1966a). Calorigenesis of cattle as influenced by growth hormone and environmental temperature. *Journal of Animal Science* 25, 1076-1086.
- Yousef, M. K., and Johnson, H. D. (1966b). Calorigenesis of dairy cattle as influenced by thyroxine and environmental temperature. *Journal of Animal Science* 25, 150-156.
- Yousef, M. K., and Johnson, H. D. (1967). Calorigenesis of cattle as influenced by hydrocortisone environmental temperature. *Journal of Animal Science* 25, 1087-1093.
- Yousef, M. K., and Johnson, H. D. (1984). Body fluids and thermal environments. In "Stress Physiology in Livestock . Basic Principles" (M. K. Yousef, ed.), Vol. 1, pp. 189-201. CRC Press, Las Vegas.
- Yousef, M. K., Kibler, H. H., and Johnson, H. D. Thyroid activity and heat production in cattle following sudden ambient temperature changes. 142-148.
- Yousef, M. K., Robertson, W. D., Johnson, H. D., and Hahn, L. (1988). Effect of ruminal heating on thyroid function and heat production of cattle. *Journal of Animal Science* 28, 677-683.
- Zar, J. H. (1974). "Biostatistical Analysis," 1st./Ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs NJ.
- Zia-Ur-Rehman, Gilani, A. H., Ahmad, M.-U.-D., and Ali, C. S. (1982). Adaptability of cross-bred dairy heifers to summer season measured by rectal temperature, pulse rate and respiration rate. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 35, 63-68.

