

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VALIDAÇÃO DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO E
ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DA BOVINOCULTURA
DE LEITE

Autor: Cleiton Luiz Tonello
Orientador: Prof. Dr. Orlando Rus Barbosa

MARINGÁ
Estado do Paraná
dezembro - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VALIDAÇÃO DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO E
ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DA BOVINOCULTURA
DE LEITE

Autor: Cleiton Luiz Tonello
Orientador: Prof. Dr. Orlando Rus Barbosa

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de Concentração Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
dezembro - 2011



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**VALIDAÇÃO DE ÍNDICE DE CONFORTO
TÉRMICO E ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO
DA BOVINOCULTURA DE LEITE**

Autor: Cleiton Luiz Tonello
Orientador: Prof. Dr. Orlando Rus Barbosa

TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 16 de dezembro de 2011.

Prof. Dr. Júlio Cesar Damasceno

Prof. Dr. Marcos Chiquitelli Neto

Profª Drª Ana Maria Bridi

Profª Drª Claudete Regina

Alcalde

Prof. Dr. Orlando Rus Barbosa
(Orientador)

PERFIL

Apparício Silva Rillo

*Dou rédea aos potros que
monto na cancha das invenções,
puando esporas de tempo
no pêlo dos redomões.*

*Visto minh'alma por dentro
em dias de tempo feio.
De mim recorro alambrados,
para meus próprios rodeios.*

*Visto minh'alma por fora
em dias de ressolana.
O sol me alumbra no cerne
com seus candieiros de chama.*

*Timbram cincerros de bronze
no canto de um galo rubro,
e eu madrugando luzeiros
a mim mesmo me descubro.*

*Chairo a memória e percebo
que meus rumos não perdi:
quem nasceu para andarilho
inventa ventos em si...*

À minha mãe Salete Tonello

Ao meu pai Elias Angelo Tonello

Pela dedicação aos seus filhos e pelo incentivo,
apoio, amizade e carinho que sempre
demonstraram.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por mais este sonho realizado;

A Santo Expedito, pela ajuda nas horas difíceis;

À Universidade Estadual de Maringá, por ter possibilitado desenvolver este trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Orlando Rus Barbosa, pela orientação, grande ajuda, confiança e compreensão durante os anos de convívio, pela amizade, profissionalismo e oportunidade concedida;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, da UEM, pelos valiosos ensinamentos.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pelos dados climatológicos fornecidos.

Aos pesquisadores Paulo Henrique Caramori e Wilian da Silva Ricce do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, no auxílio na elaboração dos mapas do zoneamento bioclimático.

Aos amigos Tiago Pasquetti, Alexandre Krutzmann, Helio Cumani Garcia, Thatiane Mazieiro, Naurani, Gotardo, Marcelo, Esdras Zanella, Eisler Zanella, Leonir Bueno, Lucio, Carla, Cleverson, Roman e demais colegas pela atenção e pelas horas de conversa, trabalho e amizade.

BIOGRAFIA DO AUTOR

CLEITON LUIZ TONELLO, filho de Elias Angelo Tonello e Salete Tonello, nasceu em Cascavel, Paraná, no dia 10 de novembro de 1981.

Em dezembro de 2004, concluiu o curso de Zootecnia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

Em 2006, iniciou o Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá - UEM. Defendendo a dissertação no dia 19 de Maio de 2008.

Em 2008, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá - UEM.

Em dezembro de 2011, submeteu-se à banca para defesa da Tese.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
TABELAS DO APÊNDICE	xii
FIGURAS DO APÊNDICE	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
I - INTRODUÇÃO	1
2. Referências	26
II -OBJETIVO GERAIS	31
III - ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO PARA BOVINOS DE LEITE.....	32
Resumo	32
Abstract	32
Introdução	33
Material e Métodos	34

Resultados e Discussão	37
Conclusões	55
Referências	56
IV - AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA VACAS DA RAÇA HOLANDESA COM DIFERENTES NÍVEIS DE PRODUÇÃO.....	58
Resumo	58
Abstract	58
Introdução	59
Material e Métodos	60
Resultados e Discussão	63
Conclusões	79
Referências.....	80
V - ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DA BOVINOCULTURA DE LEITE PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL, UTILIZANDO ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO.....	82
Resumo	82
Abstract	82
Introdução	83
Material e Métodos	84
Resultados e Discussão	88
Conclusões	104
Referências.....	105
VI - APÊNDICE	107

LISTA DE TABELAS

	Páginas
TABELA 1. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis ambientais, fisiológicas e do nível de produção de leite em três localidades na região sul do Brasil.	38
TABELA 2. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis fisiológicas para vacas da raça Holandesa.	41
TABELA 3. Equações de regressão da frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e nível de produção de Leite (NP) de vacas da raça Holandesa em função das variáveis ambientais	44
TABELA 4. Correlações entre os componentes principais (Y1, Y2, Y3 e Y4) e as variáveis ambientais (Ta, Tg, Pv e Vv)..	47
TABELA 5. Correlações entre os componentes principais (Y1, Y2, Y3 e Y4) e a temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e nível de produção de leite (NP) de vacas da raça Holandesa.	48
TABELA 6. Estimativa dos coeficientes da equação de regressão múltipla para predição das respostas fisiológicas e do nível de produção de vacas da raça Holandesa em função das variáveis ambientais..	49
TABELA 7. Correlações entre as equações de predição da temperatura retal (TR estimado), frequência respiratória (FR estimado) e nível de produção (NP estimado) e as variáveis fisiológicas	

(temperatura retal e frequência respiratória) e nível de produção de leite.	50
TABELA 8. Coeficiente de correlação dos índices de conforto térmico para vacas da raça Holandesa	52
TABELA 9. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis fisiológicas, ambientais e nível de produção de leite de vacas da raça Holandesa de alta ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e baixa ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) produção de leite	64
TABELA 10. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis fisiológicas para vacas da raça Holandesa de alta ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e baixa ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) produção de leite.....	66
TABELA 11. Equações de regressão da frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e nível de produção de leite (NP) de vacas da raça Holandesa de alta ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e baixa ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) produção de leite em função das variáveis ambientais (T_a , P_v , V_v e T_g).....	71
TABELA 12. Estimativa dos coeficientes da equação de regressão múltipla para predição das respostas fisiológicas e do nível de produção de vacas da raça Holandesa em função das variáveis ambientais.	72
TABELA 13. Correlação entre as equações de predição para animais com produção de leite $<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (TR1, FR1 e NP1), $>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (TR2, FR2 e NP2) e o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) com a temperatura retal, frequência respiratória e nível de produção de leite.....	74
TABELA 14. Coeficiente de correlação dos índices de conforto térmico para da raça Holandesa de alta ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e baixa ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) produção de leite	76
TABELA 15. Parâmetros das equações de regressão para temperatura do ar, pressão parcial de vapor, temperatura do globo negro, velocidade do vento e índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) para o mês de janeiro na região sul do Brasil.	89

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da Temperatura retal ($^{\circ}C$) de vacas da raça Holandesa.	54
FIGURA 2. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da frequência respiratória ($mov.min^{-1}$) de vacas da raça Holandesa	54
FIGURA 3. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função do NP ($kg.vaca^{-1}.dia^{-1}$) de vacas da raça Holandesa.	55
FIGURA 4. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da temperatura retal ($^{\circ}C$) de vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção de leite..	77
FIGURA 5. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da frequência respiratória estimada ($mov.min^{-1}$) de vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção de leite..	78
FIGURA 6. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função do nível de produção estimado ($kg.vaca^{-1}.dia^{-1}$) de vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção de leite.	79

FIGURA 7.	Localização das estações meteorológicas do INEMT-DF e IAPAR-PR na região sul do Brasil.	85
FIGURA 8.	Distribuição espacial da temperatura do ar (T_a) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.	90
FIGURA 9.	Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (P_v) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.	92
FIGURA 10.	Distribuição espacial da velocidade do vento (V_v) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.	94
FIGURA 11.	Distribuição espacial da temperatura do globo negro (T_g) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.	96
FIGURA 12.	Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de janeiro para a região sul do Brasil.	98
FIGURA 13.	Prognóstico do declínio da produção de leite, em função do ICT_{bl} , referente ao mês de janeiro na região sul do Brasil para vacas da raça Holandesa com baixa produção de leite ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$)	100
FIGURA 14.	Prognóstico do declínio da produção de leite, em função do ICT_{bl} , referente ao mês de janeiro na região sul do Brasil para vacas da raça Holandesa com alta produção de leite ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$).	102

TABELAS DO APÊNDICE

	Página
TABELA 1A. Relação das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-DF) dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.....	108
TABELA 2A. Relação das estações meteorológicas do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) do estado do Paraná.....	110
TABELA 3A. Parâmetros das equações de regressão para Temperatura do ar (°C)	112
TABELA 4A. Parâmetros das equações de regressão para Pressão parcial de vapor (kPa).....	112
TABELA 5A. Parâmetros das equações de regressão para Temperatura do globo negro (°C).....	113
TABELA 6A. Parâmetros das equações de regressão para Velocidade do vento (m.s ⁻¹).....	113
TABELA 7A. Parâmetros das equações de regressão para Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite (ICT _{bl}).	114

FIGURAS DO APÊNDICE

	Página
FIGURA 1A. Distribuição espacial da temperatura do ar (T_a) para o mês de abril para a região sul do Brasil.	115
FIGURA 2A. Distribuição espacial da temperatura do ar (T_a) para o mês de julho para a região sul do Brasil.	115
FIGURA 3A. Distribuição espacial da temperatura do ar (T_a) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.	116
FIGURA 4A. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (P_v) para o mês de abril para a região sul do Brasil.	116
FIGURA 5A. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (P_v) para o mês de julho para a região sul do Brasil.	117
FIGURA 6A. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (P_v) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.	117
FIGURA 7A. Distribuição espacial da velocidade do vento (V_v) para o mês de abril para a região sul do Brasil.	118
FIGURA 8A. Distribuição espacial da velocidade do vento (V_v) para o mês de julho para a região sul do Brasil.	118
FIGURA 9A. Distribuição espacial da velocidade do vento (V_v) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.	119
FIGURA 10A. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (T_g) para o mês de abril para a região sul do Brasil.	119

FIGURA 11A. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (T_g) para o mês de julho para a região sul do Brasil.	120
FIGURA 12A. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (T_g) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.	120
FIGURA 13A. Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de abril para a região sul do Brasil.	121
FIGURA 14A. Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de julho para a região sul do Brasil ..	121
FIGURA 15A. Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de outubro para a região sul do Brasil.	122

RESUMO

Objetivando desenvolver um índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) foram utilizadas 150 vacas leiteiras da raça Holandesa semiconfinadas, em três localidades (Cascavel – PR, Chapecó – SC e Erechim – RS). As variáveis ambientais consideradas foram: temperatura do ar, pressão parcial de vapor, velocidade do vento e temperatura do globo negro que foram utilizadas para o cálculo do ICT_{bl} . As respostas registradas dos animais ao ambiente foram: temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e nível de produção de leite diário (NP). A interação destas respostas dos animais ao ambiente foram descritas por meio da análise de trilha e regressão. Para determinar o zoneamento bioclimático da bovinocultura de leite da região sul do Brasil, com o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}), e o declínio de produção de leite (DPL) de vacas com alta e baixa produção nas condições térmicas dessa região, foram utilizados dados meteorológicos médios diários de 69 estações meteorológicas distribuídas por toda a região sul do Brasil, com os valores das variáveis ambientais, ICT_{bl} e DPL foram traçadas as isolinhas dessas variáveis para a região sul do Brasil por meio do programa ARCGIS. O índice foi desenvolvido utilizando a análise de componentes principais e comparado com alguns índices de conforto térmico por meio de análise de correlação. O índice estimado pelo primeiro componente principal (Y1) apresentou 56,76% da explicação das variáveis do clima analisadas e obteve correlação de 0,2034 com a temperatura retal, 0,1581 com a frequência respiratória e -0,2535 com o nível de produção de leite das vacas, sendo considerado o melhor índice para avaliação do estresse térmico de vacas da raça Holandesa em lactação. Em animais de alta produção de leite a temperatura do ar e a temperatura do globo negro teve maior efeito sobre a FR e TR, respectivamente, e a elevação da pressão parcial de vapor causou redução da produção leiteira. Para animais de baixa produção o ICT_{bl} correlacionou-se com a TR ($r= 0,1563$) e FR ($r= 0,1246$); em animais de alta produção obteve correlação de 0,2942 com TR e 0,3646 com FR, demonstrando ser o índice mais eficiente em caracterizar as alterações fisiológicas dos animais perante o ambiente das localidades analisadas. As regiões mais estressantes da região sul apresentaram valores de ICT_{bl} variando entre 38 a 42 com declínio da produção de leite para animais de baixa produção ($DPL_{<20}$) entre 2 a 3 $kg.vaca^{-1}.dia^{-1}$ e declínio da produção de leite para animais de alta produção ($DPL_{>20}$) entre 3 a 5 $kg.vaca^{-1}.dia^{-1}$. No estado do Paraná as regiões dos Campos gerais, Centro-Sul e parte da região Central, no estado de Santa Catarina, todo o planalto central e parte do norte e do vale catarinense, e no estado do Rio Grande do Sul, a região Serra gaúcha e os Campos de cima da serra são consideradas as regiões mais adequadas para a atividade leiteira.

Palavras-chaves: avaliação do ambiente, estresse térmico, termorregulação

ABSTRACT

Aiming to develop a thermal comfort index for dairy cattle (TCI_{dc}) there were used 150 Holstein dairy cows semi-confined in three locations (Cascavel - PR, Chapecó - SC and Erechim - RS). The environmental variables considered were: air temperature, air humidity, wind speed and black globe temperature that were used to calculate the TCI_{dc} . The recorded responses of animals to the environment were: rectal temperature (RT), respiratory rate (RR) and level of daily milk production (MP). The interaction of these animals responses to the environment were described by means of path analysis and regression. To determine the bioclimatic zoning of dairy cattle in southern Brazil, with the thermal comfort index for dairy cattle (TCI_{dc}) and milk production decline (DMP) of cows with high and low production at the temperatures in this region, were used daily average meteorological data from 69 weather stations distributed throughout the southern region of Brazil. With the values of environmental variables, DMP and TCI_{dc} were traced the contours of these variables to southern Brazil through the program ARCGIS. The index was developed using principal component analysis and compared with some indices of thermal comfort using correlation analysis. The rate estimated by the first principal component (Y1) has 56.76% of explanations of climate variables analyzed and obtained correlation of 0.2034 with the rectal temperature, respiratory rate of 0.1581 and -0.2535 with the level of milk production of cows, considered the best index to evaluate the thermal stress of Holstein cows in lactation. In animals of high milk production the air temperature and black globe temperature has more effect on the RR and RT, respectively, and high partial pressure of steam causes a reduction of milk production. For animals of the low production TCI_{dc} correlated with RT ($r = 0.1563$) and RR ($r = 0.1246$) in animals of high production obtained with RT correlation of 0.2942 and 0.3646 for RR, proving to be the most efficient index to characterize the physiological changes of the animals to the environment of the locations analyzed. The most stressful parts of southern TCI_{dc} showed values ranging from 38 to 42 with a decline in milk production for animals of low production ($DMP_{<20}$) at 2 to 3 $kg.vaca^{-1}.day^{-1}$ and production decline for animals of high milk production ($DMP_{>20}$) from 3 to 5 $kg.vaca^{-1}.day^{-1}$. In the state of Parana region of Campos Gerais, South Central and part of the region Central in the state of Santa Catarina throughout the central plateau, the northern part and valley catarinense and the state of Rio Grande do Sul the region Serra gaucha and top fields of the Serra gaucha region are considered more appropriate for dairy cow.

Key words: assessment of environmental, heat stress, thermoregulation

I – Introdução

O fluxo de energia solar incidente sobre o globo terrestre é respondido pela atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera de várias maneiras, tais como pelo armazenamento, pela reemissão ou redistribuição das ondas eletromagnéticas. As manifestações dinâmicas ou termodinâmicas causadas por esses processos naturais podem ser avaliadas instantaneamente (tempo) ou em um período mais longo (clima) (Blain et al., 2007).

O clima é um dos componentes ambientais que exerce efeito mais pronunciado sobre o bem-estar animal e, por consequência, sobre a produção e produtividade, sendo, portanto, fator regulador ou mesmo limitador da exploração animal para fins econômicos (Pereira, 2005).

A grande maioria do território brasileiro, cerca de dois terços, situada na faixa tropical do planeta, em que predominam as altas temperaturas do ar, consequência da elevada radiação solar incidente. A influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar fazem com que, no Brasil, existem vários subtipos de clima tropical (continental, altitude e semiárido), o subtropical e o equatorial. Mesmo dentro de uma mesma região geográfica do país, há uma diversidade climática (Siqueira et al., 2005).

Também indiretamente, o clima influencia a sanidade animal criando as condições ambientais favoráveis ao aumento da população dos parasitos. Como a doença se manifesta por meio da relação entre o agente, o ambiente e o hospedeiro, com aumento do poder infectante, haverá um desequilíbrio nesta relação, predispondo os animais às enfermidades (Ferreira et al., 2004).

A interação animal e ambiente devem ser consideradas quando se busca maior eficiência na exploração pecuária, porque as diferentes respostas do animal às peculiaridades de cada região são determinantes no sucesso da atividade. Assim, a correta identificação dos fatores que influem na vida produtiva do animal, como o estresse imposto pelas flutuações estacionais do meio ambiente, permite ajustes nas práticas de manejo dos sistemas de produção, possibilitando oferecer sustentabilidade e viabilidade econômica. Dessa forma, o conhecimento das variáveis climáticas, sua interação com os animais e as respostas comportamentais, fisiológicas e produtivas são preponderantes na adequação do sistema de produção aos objetivos da atividade (Neiva et al., 2004).

1.1. Influência dos elementos climáticos sobre a produção animal

O clima atua sobre o animal, que busca constantemente se adaptar as condições ambientais na busca do bem-estar. Os bovinos em clima tropical, principalmente os que são criados em regime de pastos, estão expostos ao sol e a outras intempéries por várias horas ao dia e se tornam susceptíveis a um estado permanente de estresse, resultando em alterações fisiológicas que comprometem seu desempenho produtivo (Deitenbach et al., 2008).

As diferentes respostas do animal às peculiaridades de cada região são determinantes no sucesso da atividade através da adequação do sistema produtivo às características do ambiente e ao potencial produtivo dos ruminantes (Teixeira, 2000). A diminuição na produção de leite das vacas em estresse térmico por calor se deve, principalmente pela redução na ingestão de alimentos, à hipofunção da tireoide e pela energia despendida para eliminar o excesso de calor corporal. A redução no consumo de

alimentos é maior quanto mais intenso for o estresse térmico, e, principalmente à inibição, pelo calor, do centro do apetite localizado no hipotálamo, resultante da hipertermia corporal, que pode resultar em um decréscimo de 17% na produção de leite de vacas de 15 kg de leite.dia⁻¹ e de 22% em vacas de 40 kg.dia⁻¹ (Porcionatto, 2009).

As condições atmosféricas que influenciam na temperatura do ar são a quantidade de nuvens, poeira, poluição, vento, quantidade de vapor de água, entre outros (Marin et al., 2008). Os estudos de Nääs (2001) e Silva et al., (2002) demonstraram, que ao se utilizar de artifícios geradores de melhorias das condições ambientais das instalações (ventiladores, nebulizadores, chuveiro em sala de espera), a resposta produtiva dos animais é positiva, pelo favorecimento da criação de um microclima capaz de promover o bem-estar animal, a partir de uma determinada zona de termoneutralidade.

Para Rodrigues et al. (2010) a sombra em condições de baixa temperatura ambiente ($\leq 24^{\circ}\text{C}$), se faz necessária para mitigar os efeitos ambientais nas horas mais quentes do dia, o sombreamento pode ser conferido naturalmente e artificialmente, e conforme o material de constituição de sombras artificiais, haverá maior ou menor conforto térmico, tendo ainda, influência da qualidade de sombra, com base no tamanho da área disponível ao animal.

Vacas leiteiras mesmo quando não estão em lactação, sendo submetidas ao estresse térmico, reduzem significativa e consideravelmente a sua ingestão alimentar, e como consequência disto, ocorre um comprometimento do aproveitamento dos nutrientes da dieta por parte dos mesmos, uma vez, que foi verificado redução de 49 e 55% na digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta, respectivamente, dos animais estressados, comparado aos animais mantidos em conforto térmico (Passini et al., 2009). Vale ressaltar, que na realização do experimento desses autores, o grupo animal submetido ao conforto térmico permaneceu em ambiente com temperatura

media de 21°C, enquanto os animais sob condições de estresse, permaneceram em câmara bioclimática com temperatura média de 38°C, durante todo o período experimental.

Vacas leiteiras de alta produção são mais sensíveis aos efeitos do estresse térmico do que as de menor produção láctea, e em condições ambientais estressantes, vacas de produção elevada têm o seu consumo alimentar reduzido, e assim, os animais não tem as suas necessidades nutricionais atendidas, implicando em queda na produção leiteira (Silva, 2008).

Silva et al. (2009) em estudo com animais da raça Pitangueiras não observaram uma condição de favorecimento climático no aumento de produção láctea de animais de baixa produção. Não significa dizer que essa categoria de animal não deva desfrutar de um ambiente confortável do ponto de vista climático, visto que um animal somente pode expressar plenamente o seu potencial produtivo quando submetido as condições ambientais confortantes, em que, através da aplicação de estratégias de manejo e o uso de subterfúgios técnicos nas instalações de produção, os fatores estressantes sejam abolidos, ou ainda mitigados, como forma de subsidiar a plenitude fisiológica dos animais de produção (Baeta & Souza, 2010; Silva, 2008).

Perissinotto et al. (2007), verificaram ao longo de um ano de pesquisa em Portugal, que as vacas leiteiras reduziram a sua produção nos meses de junho a setembro, período em que a temperatura do ar estava mais elevada (época quente do ano) em relação aos demais meses, contudo, apesar do mês de outubro não ter apresentado nenhum fator ambiental ou alimentar que remetesse a estresse calórico, manteve-se registro de queda na produção leiteira semelhante aos meses anteriores. Para este fato, explicam que quanto mais acentuado e prolongado for o período de estresse térmico, maiores serão os ajustamentos endócrinos da aclimatação e mais lenta a

recuperação da produção de leite. Para Rodrigues et al. (2010) este aumento lento da produção de leite esta de acordo com a recuperação de um cenário endócrino associado à termoneutralidade, que se baseia na recuperação dos valores de base dos hormônios da tireoide, da somatotropina e da prolactina.

O estresse térmico afeta o desempenho reprodutivo dos animais sensíveis ao calor. Lucy (2001) relatou que as taxas de concepção nos EUA caem para 10 a 20% no verão. O estresse calórico pode estar diretamente ligado ao aumento da temperatura corporal, a qual produz seus efeitos no aparelho reprodutor e no feto.

Logo, a correta identificação dos fatores que influem na vida produtiva do animal, como o estresse imposto pelas flutuações estacionais do meio ambiente, permite ajustes nas práticas de manejo dos sistemas de produção, possibilitando sustentabilidade e viabilidade econômica (Silva et al., 2006).

A temperatura do ar é considerada o elemento climático com influência mais importante sobre o ambiente físico do animal, apresentando como o principal elemento a ser considerado nos aspectos de produção animal em confinamento (Sampaio et al., 2004).

Altas temperaturas do ar, principalmente quando associadas a umidades relativas do ar também elevadas, afetam a produção de leite, a reprodução, aumentam a mortalidade, a susceptibilidade as mais variadas doenças e causam notáveis prejuízos econômicos à atividade pecuária (Pereira, 2005).

Nos climas subtropicais e tropicais, como os do Brasil, os efeitos de temperatura e umidade do ar são, muitas vezes, limitantes ao desenvolvimento, produção e reprodução dos animais, em razão do estresse a eles associado. Morrison et al. (2000) relataram que a vaca leiteira começa a responder fisiologicamente a elevação da temperatura ambiente quando ultrapassa 22°C, e a performance reprodutiva acima de 32°C. Dentro de ampla

faixa de temperatura, podem ser definidas zonas térmicas que proporcionam maior ou menor conforto ao animal. Os animais, para terem máxima produtividade, dependem de uma faixa de temperatura adequada, também chamada de zona de conforto térmico, em que não há gasto de energia ou atividade metabólica para aquecer ou esfriar o corpo. Do ponto de vista de produção, este aspecto se reveste de muita importância, pelo fato de, dentro desses limites, os nutrientes ingeridos pelos animais serem utilizados exclusivamente para seu crescimento e desenvolvimento (Baêta & Souza, 2010).

A umidade do ar é o termo utilizado para descrever a quantidade de vapor de água contido na atmosfera, sem fazer referência a outros estados da água, seja na forma líquida ou sólida (Marin et al., 2008). A umidade do ar estando baixa causa desidratação e irritação na pele e mucosas predispondo o animal a várias patologias (Starling et al., 2002). A maior pressão de vapor pela alta umidade do ar conduz a menor evaporação da água contida no animal para o meio, tornando o resfriamento do animal mais lento. Menor pressão de vapor, por sua vez, proporciona resfriamento do animal mais rapidamente, em decorrência da maior taxa de evaporação da água através da pele e do aparelho respiratório. A umidade relativa do ar elevada dificulta a liberação de calor por evaporação, promovendo alterações nas respostas fisiológicas dos animais (Souza et al., 2007).

A umidade atmosférica é um elemento que influencia marcadamente o balanço calórico em ambientes quentes em que a perda de calor por evaporação é crucial a homeotermia (Neiva et al., 2004). Quando a temperatura ambiente supera o valor máximo de conforto para o animal, a umidade relativa do ar passa a ter importância fundamental nos mecanismos de dissipação de calor (Pires & Campos, 2008).

De acordo com Pereira (2005) o conteúdo de vapor de água ou umidade afeta de modo significativo o ritmo de perda de calor do animal. A taxa de resfriamento pela

evaporação da pele e do trato respiratório depende, acentuadamente, da umidade do ar. A evaporação se processa rapidamente quando há menor pressão de vapor, como no caso de clima quente e seco. Quando a pressão de vapor é alta, por causa da umidade relativa do ar elevada, como ocorre nas regiões quentes e úmidas, a evaporação se processa lentamente e esta limita a capacidade de perda de calor corporal para o meio ambiente, pondo em risco o equilíbrio térmico. Umidade do ar com valores de 55 a 70%, segundo Sampaio et al. (2004), é uma característica desejável nas horas mais quentes, quando o animal dispõe de processos evaporativos para perda de calor.

A radiação solar, energia emitida pelo sol, é a fonte de fenômenos meteorológicos. Essa emissão pode ser de raios ultravioletas, raios luminosos e raios infravermelhos (Pereira, 2005). É uma fonte de energia com muita influência nos processos atmosféricos. As variações no balanço de radiação são fundamentais nos processos atmosféricos e terrestres alterando, por exemplo, a temperatura à superfície (Souza et al., 2008).

A intensidade da radiação solar está relacionada com a temperatura do ambiente em que o animal vive e influência os tecidos que revestem seu corpo. A radiação solar direta, na faixa ultravioleta, luz visível e infravermelha, é, em parte, refletida de acordo com a cor e outras propriedades do pelame do animal, sendo a parte restante, absorvida sob a forma de calor (Starling et al., 2002).

A velocidade com que o ar se move sobre a pele do animal tem importante ação na perda de energia. A velocidade do vento influi na maior ou menor possibilidade do animal perder calor pelo contato de sua pele com o ar. Esse mecanismo é mais notável quando a temperatura do ar é mais baixa que a do animal. Supõe-se que a velocidade do vento de 5 a 8 km/hora seja mais adequada para termorregulação de bovinos, ovinos e búfalos nos trópicos (Pereira, 2005).

Estudos como os de Carvalho et al. (2004) e Darcan & Güney (2008) reportam o uso de ventilação natural ou artificial, associada ou não a outros métodos, na tentativa de reduzir a carga térmica animal, ressaltando a importância da movimentação do ar na melhoria do conforto térmico dos animais de produção.

1.2. Conforto térmico para bovinos leiteiros

Define-se por estresse calórico a força exercida pelos componentes do ambiente térmico sobre um organismo, causando nele uma reação fisiológica proporcional à intensidade da força aplicada e à capacidade do organismo em compensar os desvios causados por essa força (Columbiano, 2007). Carrasco & Van de Kar (2003) definiram estresse como “respostas organizadas na tentativa de aumentar a sobrevivência do indivíduo e são representadas por alterações das funções autônomas, secreção de múltiplos hormônios e mudanças de comportamento”. Para Broom & Molento (2004) o estresse é a falência nas tentativas da regulação da homeostasia corporal, em que os animais não conseguem manter as alterações a níveis toleráveis.

Um ambiente é considerado confortável quando o animal está em equilíbrio térmico com o mesmo, ou seja, o calor produzido (termogênese) pelo metabolismo animal é perdido (termólise) para o meio ambiente sem prejuízo apreciável ao seu rendimento. Quando isso não ocorre, caracteriza-se estresse por calor e o uso de artifícios capazes de manter o equilíbrio térmico entre o animal e o ambiente se faz necessário (Pires & Campos, 2011).

O estresse térmico é a reação do animal ao calor e ao frio. O sistema nervoso e o sistema endócrino coordenam a resposta ao estresse. As respostas são mediadas pelo eixo hipotálamo – hipófise – adrenais. As respostas hormonais se iniciam na reação de

alarme. O estímulo estressor determina a secreção de corticotropina (CRH) pelo hipotálamo (SNC), que estimula a hipófise a liberar o hormônio adrenocorticotrófico, provocando a liberação de hormônios produzidos nas suprarrenais e adrenais. A porção medular das adrenais secreta as catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) que respondem pela excitação inicial e proporcionam ao organismo reações rápidas e imediatas. A porção cortical das adrenais secreta hormônios sexuais e os corticosteroides. Os corticosteroides (glicocorticoides, glicocorticosteroides e mineralocorticoides) são hormônios esteroides que exercem funções metabólicas essenciais como no metabolismo dos carboidratos e na manutenção do equilíbrio eletrolítico. A função do metabolismo dos carboidratos é disponibilizar glicose rapidamente na corrente sanguínea como fonte imediata de energia para fazer frente a uma situação de estresse. Níveis constantemente altos de glicocorticoides, como no caso do estresse crônico, podem ser lesivos aos tecidos, aos órgãos e inibir o crescimento. Uma hiperatividade crônica das adrenais causa atrofia do tecido linfóide ocasionando a queda da defesa imunológica (Greenspan, 2006; Ferreira, 2010).

Essas alterações fisiológicas causadas pelo estresse podem ser diagnosticadas pelo exame clínico observando o nível de desidratação, a frequência respiratória, a frequência cardíaca, a temperatura retal e da pele (Ferreira et al., 2006). Podem também auxiliar no diagnóstico as análises laboratoriais bioquímicas, hematológicas e hormonais (Starling et al., 2002; Ferreira et al., 2009).

Diante do estresse calórico as alterações de comportamento mais observadas são: aumento no consumo de água (Meyer, et al., 2006), diminuição da ruminação (Pires & Campos, 2008), diminuição do pastoreio diurno, aumento do pastoreio noturno, maior tempo de ócio (Costa, 2000), aumento nas reações agonísticas, anestro, diminuição nas

manifestações dos sinais de cio, diminuição na quantidade e qualidade do sêmem ejaculado, etc (Marai et al., 2002; Hafez, 2003; Coelho et al., 2006, Ferreira, 2010).

Essas perdas somam milhões de dólares a cada ano. Em julho de 1999, uma onda de calor, matou acima de cinco mil cabeças de gado no norte do estado de Nebraska (Darcan et al., 2007). A resistência de um animal as altas temperaturas é definida pela sua maior ou menor capacidade em dissipar o calor corporal excessivo, conseguindo assim manter a sua temperatura corporal média dentro dos limites da homeotermia (Medeiros et al., 2007).

O estresse calórico é causado principalmente pela alta temperatura do ar, mas pode ser intensificado pela alta umidade, radiação térmica e pouco movimento do ar, que pode ter efeito negativo sobre os rebanhos manejados intensivamente. O estresse térmico excessivo promove alterações na homeostase e potencial mudança das variáveis fisiológicas (temperatura retal, frequência respiratória e concentrações hormonais), que pode até mesmo ser quantificado por estes, causando grande impacto econômico na produção animal (Ferreira et al., 2006; Al-Tamimi, 2007).

Rossarolla (2007) relata que vacas em lactação submetidas a estresse térmico diminuem também o pastejo e o exercício, pastando a noite e buscando sombra e imersão em água durante o dia, além de apresentarem aumento da frequência respiratória, redução na ingestão de alimentos e aumento na ingestão de água, havendo, no entanto, uma redução do efeito climático sobre estas e outras variáveis, quando os animais são alojados em áreas que possuem sombreamento.

O ambiente térmico, geralmente, engloba os efeitos da radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (Baeta & Souza, 2010), sendo a combinação temperatura e umidade do ar o principal condicionante para conforto térmico e o funcionamento geral dos processos fisiológicos (Oliveira et al., 2006).

De acordo com Souza (2010) as formas de termorregulação podem ser físicas (alterações no fluxo sanguíneo, isolamento da camada de cobertura, sudorese/transpiração e ofegação) ou químicas (respostas músculo-esqueléticas involuntárias, respostas metabólicas por meio dos hormônios da tireoide, glicocorticoides e hormônio do crescimento, respostas simpato-adrenais, com liberação de catecolaminas).

A homeotermia é mantida através da homeostase térmica conseguida pelo controle das taxas metabólicas, possibilitando a manutenção da temperatura do corpo a um nível que pode ser distinto da temperatura do meio (Perissinoto, 2006). A manutenção da homeotermia feita por trocas de calor com o meio é proporcionada pela ação dos mecanismos fisiológicos, comportamentais e metabólicos (Leme et al., 2005).

Para Silanikove (2000), o conceito mais apropriado de zona de termoneutralidade implica em descrever esta inter-relação entre animal e ambiente. A zona de conforto térmico é limitada pela temperatura mínima inferior, ou seja, pela temperatura ambiental abaixo da qual o animal aciona seus mecanismos termorregulatórios no sentido de produzir calor para balancear a dissipação de calor para o ambiente frio, e pela temperatura máxima superior, que é a temperatura ambiental acima da qual ocorre a termorregulação no sentido de auxiliar o animal na dissipação de calor corporal para o ambiente.

Na zona de termoneutralidade, a homeotermia é mantida pelos processos de produção e perda de calor, como radiação, convecção, condução e evaporação (Azevedo et al., 2005). Esses métodos de estimativa de transferência de calor são afetados diretamente pela temperatura do ar (Sampaio et al., 2004). Quando a temperatura ambiente se encontra abaixo da temperatura crítica inferior, a perda de calor na forma sensível (não evaporativa) predomina. Porém, quando a temperatura ambiente excede a

temperatura crítica superior, predomina a dissipação de calor latente (evaporativo) (Oliveira, 2007).

O centro termorregulador dos animais se encontra no hipotálamo (Sistema Nervoso Central). Sob temperaturas elevadas as células termorreceptoras periféricas do calor são estimuladas a enviarem via hipotálamo anterior a determinação de perda de calor, que se faz por meio de ajustes funcionais e normas de conduta para dissipar calor para o meio. Sob temperaturas baixas as células termorreceptoras periféricas do frio são estimuladas a enviarem via hipotálamo posterior a determinação de ganho de calor, que se faz por meio de ajustes funcionais e normas de conduta para conservar e/ou produzir calor (Lista et al., 2005; Ferreira, 2010).

Nos trópicos, o mais importante para o animal é a perda de calor sendo que os mecanismos fisiológicos utilizados para essa termólise são: aumento do fluxo sanguíneo periférico, aumento da frequência respiratória, aumento da sudorese, redução da ingestão de alimentos, aumento no consumo de água, mudanças na atividade endócrina e conseqüentemente mudanças comportamentais (Dhiman & Zaman, 2001).

O ambiente térmico exerce forte influência sobre o desempenho animal, por afetar os mecanismos de transferência de calor e, assim, a regulação do balanço térmico entre o animal e o meio. O animal dentro de um ambiente térmico considerado adequado produzira de acordo com o seu potencial genético, em que os limites térmicos do ambiente estabelecidos como confortantes ou estressantes, podem sofrer variações em função da região e dos tipos/raças animais utilizados na propriedade (Perissinotto, 2009).

Para Azevedo et al. (2005) vacas mestiças holandês-zebu são mais resistentes as intempéries climáticas que as de puro sangue Holandês. Silva et al. (2002) complementam relatando que o problema principal das raças leiteiras de origem

européia esta na sua difícil adaptação ao clima tropical, em que, em razão da alta produtividade, sofrem problemas de alterações fisiológicas e comportamentais, provocados pelo estresse térmico, e como consequência, redução na produção de leite.

A maior adaptação dos zebuínos ao clima quente está na sua capacidade de perder calor pela sudorese de forma mais efetiva, por possuírem maior número de glândulas sudoríparas ou maior volume de secreção, pelos mais curtos e maior superfície em relação à massa corporal, apresentando assim, um mecanismo termorregulatório mais eficiente que os taurinos (Pereira et al., 2008).

1.3. Índices de Conforto Térmico

Em qualquer estudo de respostas fisiológicas dos animais ao ambiente, ou aos efeitos do ambiente na eficiência, conforto e bem-estar animal, está claro a necessidade de expressar numericamente o ambiente o qual lhe é concernido. Se o ambiente térmico é específico, quatro fatores devem ser considerados, como a temperatura, umidade e velocidade do ar e o calor radiante recebido das superfícies vizinhas. Essas quatro variáveis podem ser expressas por meio de índices, facilitando assim, a comparação de diferentes ambientes. Para avaliação das condições climáticas da região com as exigências dos animais, vários índices térmicos ambientais foram propostos (Abreu et al., 2008).

Existem diversos indicativos para caracterização do conforto e do bem-estar animal. Entre eles, está a observação criteriosa das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais ao estresse (Almeida, 2010).

A ocorrência de estresse térmico pode ser observada, avaliando o ambiente térmico, seja de uma área sombreada ou não sombreada, por meio de índices de

conforto térmico, associado a avaliação do animal através da determinação de sua capacidade fisiológica de tolerar melhor o calor (Souza et al., 2010). O desenvolvimento de índices de conforto térmico para animais domésticos visa apresentar em uma única variável, a síntese de vários parâmetros inter-relacionados, como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação do ambiente que caracterizam o ambiente térmico. Vários índices têm sido desenvolvidos e usados para avaliar o conforto térmico de determinado ambiente (Pires & Campos, 2009). Normalmente, estes índices consideram os parâmetros ambientais de temperatura e umidade relativa do ar, sendo alguns acrescidos do vento e radiação. No entanto, cada parâmetro possui um determinado peso dentro do índice, conforme sua importância relativa ao animal (Sampaio et al., 2004).

1.3.1. Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido por Thom (1959), como índice de conforto térmico para humanos, e até hoje é um dos mais utilizados em trabalhos sobre conforto térmico para gado leiteiro, embora vários autores já tenham demonstrado que este índice, por considerar apenas temperatura e umidade do ar, apresenta limitação em representar de forma mais ampla as condições ambientais sob as quais os animais vivem (Matarazzo, 2004; Martello, 2006; Silva et al., 2007; Almeida, 2010).

Os valores do índice podem ser calculados a partir da temperatura de bulbo seco mais uma medida de umidade e é expresso em unidades. Assim:

$$ITU = ts + 0,36tpo + 41,5$$

Em que:

ts = temperatura do bulbo seco, °C

tpo = temperatura do ponto de orvalho, °C

Este índice de conforto ambiental é prático e de baixo custo e pode ser avaliado com o uso de um termo-higrômetro, aparelho que avalia a temperatura e a umidade do ar em qualquer momento do dia. Quando o objetivo é verificar a capacidade de tolerância ao calor do animal utilizam testes de tolerância ao calor que se baseia na capacidade de dissipação de calor pelos animais (Souza et al., 2010).

Azevedo et al. (2005) baseado na temperatura retal estimaram valores críticos superiores de ITU iguais a 80, 77 e 75 para os animais dos grupos genéticos 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês – Zebu, respectivamente. Silanikove (2000) sugere que mecanismos de termorregulação, incluindo aumento na taxa de respiração, podem prevenir um aumento na temperatura retal até o valor de 80 do ITU.

1.3.2. Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU)

Buffington et al.(1981) desenvolveram o índice de globo negro e umidade (ITGU) como um índice de conforto térmico para vacas leiteiras expostas a níveis ambientais de radiação solar direta e indireta. Temperaturas retais e taxa respiratória de vacas leiteiras são diretamente relacionadas com o ITGU, enquanto a produção de leite e a eficiência reprodutiva estão inversamente relacionadas.

Em 1932, Vernon propôs a utilização de um globo oco, pintado de preto, no interior do qual foi colocado um termômetro para medir sua temperatura interna. De acordo com o autor, a temperatura indicada pelo globo proveria a estimativa dos efeitos combinados da energia radiante procedente do meio, em todas as direções possíveis, da temperatura do ar e da velocidade do vento, dando assim uma medida de conforto térmico proporcionado pelo ambiente nestas condições (Silva, 2008; Almeida, 2010). Vários pesquisadores utilizaram este instrumento para determinar as condições ambientais em sistemas de criação animal (Barbosa Filho, 2008; Kawabata et al., 2006).

A equação que descreve o ITGU é:

$$\text{ITGU} = T_g + 0,36 T_{po} + 41,5$$

Em que:

T_g = temperatura do termômetro de globo negro, °C;

T_{po} = temperatura do ponto de orvalho, °C.

Uma desvantagem do uso do ITGU para se fazer o diagnóstico bioclimático de uma determinada região é a inexistência de medições da temperatura de globo negro nas estações meteorológicas distribuídas ao longo do país (Abreu et al., 2008), não sendo fácil de utilizar a nível de produtor (Rocha, 2008). Dessa forma, o ITU se destaca por apresentar como método mais simples e acessível na tentativa de caracterizar o ambiente térmico, por considerar apenas os valores de temperatura e umidade relativa do ar, obtidas facilmente nas estações meteorológicas (Silanikove, 2000).

1.3.3. Índice de Temperatura Equivalente (ITE)

Os efeitos da temperatura, da umidade relativa e da velocidade do vento sobre o equilíbrio térmico de vacas leiteiras foram combinados por Baeta & Souza (2010) em uma equação que os autores denominaram Índice de temperatura equivalente:

$$\text{ITE} = 27,88 - 0,456T_a + 0,01075T_a^2 - 0,4905U_r + 0,00088U_r^2 + 1,1507V - 0,126447V^2 + 0,019876T_aU_r - 0,046313T_aV$$

Em que:

T_a = temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

U_r = umidade relativa do ar (%)

V = velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

A equação foi testada em câmara climática com cinco vacas da raça holandesa de alta produção, expostas a temperaturas entre 16 e 41 $^{\circ}\text{C}$, umidade relativa entre 40 e 90% e vento de 6,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Todos os animais apresentavam pelame de verão. Os resultados indicaram que um incremento no valor do ITE desde uma temperatura termoneutra até 41 $^{\circ}\text{C}$ causava um decréscimo de 38,3% na produção de leite (corrigida para 3,5% de gordura), além de uma elevação de 40,8 $^{\circ}\text{C}$ na temperatura retal. A conclusão foi que, nas condições do trabalho, a seguinte escala de risco pode ser considerada para os animais, conforme o valor de ITE:

Ausência de problemas	18	27°C
Cautela	27	32°C
Cautela extrema	32	38°C
Perigo	38	44°C
Perigo extremo		>44°C

Todavia, de acordo com Silva et al. (2007), para vacas da raça Holandesa criadas em ambiente tropical e já bem adaptadas, o nível de cautela deste índice principia por volta de 30°C. Castro et al. (2009) em estudo com vacas da raça Holandesa em Diamantina (MG) observaram um valor máximo de ITE de 17, com isso os animais não apresentando efeitos negativos do estresse térmico.

1.3.4. Índice de Estresse Ambiental (IEA)

Um índice baseado na temperatura do ar (Ta), na umidade relativa (UR) e na radiação solar (S) foi apresentado por Moran et al. (2001), sendo:

$$IEA = 0,63Ta - 0,03Ur + 0,002S + 0,0054TaUr - 0,073(0,1 + S)^{-1}$$

Em que:

Ta = temperatura do ar (°C)

Ur = umidade relativa do ar (%)

S = irradiância solar (W.m⁻²)

Este índice foi considerado muito bom para determinação do conforto de seres humanos, mas dependente de mais estudos sob diferentes condições ambientais.

1.3.5. Índice de Carga Térmica (ICT)

Proposto por Gaughan et al. (2002) como guia para o manejo de gado de corte de raças europeias sob confinamento, nas condições da Austrália (temperaturas ambiente acima de 28°C). A fórmula é:

$$ICT = 33,2 + 0,2U_r + 1,2T_{g^*} - (0,82V)^{0,1} - \log(0,4V^2 + 0,0001)$$

Em que:

U_r = umidade relativa do ar (%)

T_{g^*} = temperatura de globo predita, obtida por:

$$T_{g^*} = 1,33T_a - 2,65T_a^{1/2} + 3,21 \log(S + 1) + 3,5$$

Em que:

S = irradiância solar ($W.m^{-2}$)

O índice foi desenvolvido em seguida a observações na frequência respiratória dos animais e em alterações na ingestão de matéria seca durante exposição a altas temperaturas ambientes. O uso de um preditor da temperatura do globo, em vez de uma medida direta de T_g , visa tornar o índice acessível a criadores, os quais dificilmente tem meios de utilizar globos negros. Entretanto, sempre que possível, devem-se usar medidas diretas de T_g em lugar da T_{g^*} , considerando que os animais não recebem apenas a radiação solar direta (S), mas também a radiação de ondas longas, de modo que a carga térmica radiante efetiva (CTR) pode ser muito maior que a medida de S em um dado local.

Silva et al. (2007) observaram correlações significativas de 0,286 com a temperatura retal e 0,542 com a frequência respiratória de vacas expostas a radiação solar nas condições ambientais do Ceará e do Rio Grande do Norte, sugerindo uma escala para o seu emprego nessas condições (altas temperaturas, radiação solar intensa e umidade baixa ou moderada):

Situação Normal	< 89
Cautela	89 – 92
Extrema Cautela	92 – 95
Perigo	> 95

1.3.6. Índice de Frequência Respiratória (IFR)

De acordo com Silva (2008), o IFR é um índice desenvolvido para gado de corte confinado, sendo desenvolvido por Eigenberg et al. (2002; 2003) com base de alerta contra possível estresse térmico nos animais. Há duas versões do índice, para animais em confinamentos abertos (expostos ao sol) e confinamentos cobertos.

- a) Animais expostos ao sol, temperatura ambiente > 25°C:

$$IFR = 5,4Ta + 0,58Ur - 0,63V + 0,024S - 110,9$$

- b) Animais à sombra, temperatura ambiente > 25°C:

$$IFR = 2,8Ta + 0,39Ur - 0,36V + 0,064S - 30,0$$

1.4. Respostas fisiológicas

Quando os mecanismos de termólise não são eficientes, a soma da produção de calor metabólico com a fração de calor absorvida do meio passa a ser maior que a quantidade de calor eliminada pelas vias latente e sensível e, em consequência, os animais passam a estocar calor, aumentando sua temperatura retal. Sob essas condições, a termólise evaporativa é o único meio efetivo de dissipação do excesso de calor corporal, sendo que a evaporação cutânea representa aproximadamente 85% da perda total de calor latente, enquanto o restante é perdido através da evaporação respiratória (Maia et al., 2005). Starling et al. (2002), basearam-se na frequência respiratória (FR) e na temperatura retal (TR) para selecionar 10 animais, cinco com valores mais baixos como mais adaptados e cinco com valores mais altos como menos adaptados.

Os animais selecionados foram mantidos em câmara climática, em que foram medidas novamente TR, FR e taxa de evaporação total, sob 20, 30 e 40°C de temperatura do ar e pressão parcial de vapor variável. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os grupos classificados, para todas as variáveis medidas. Os autores concluíram que a utilização das variáveis TR e FR como parâmetros únicos para a seleção destes animais não é suficiente para avaliar o grau de adaptação a temperaturas elevadas.

1.4.1. Frequência Respiratória

O aumento da frequência respiratória e na ofegação são mecanismos fisiológicos importantes para a dissipação de calor nessa espécie. No entanto, estes mecanismos de calor demandam energia, resultando no aumento de manutença diária de bovinos de leite

de 7 para 25%, o que também resultará em produção de calor (Columbiano, 2007). Para produção de leite, a zona termoneutra está entre 5 e 21°C para vacas da raça Holandesa, sendo que para raças zebuínas, o limite superior é de 29°C. Como defesa ao desconforto térmico, os bovinos recorrem a mecanismos adaptativos fisiológicos de perda de calor corporal para tentar evitar a hipertermia. Assim, aumentam a frequência respiratória apresentando a taquipneia, como complemento ao aumento da taxa de sudorese, constituindo ambos, importantes meios de perda de calor do corpo por evaporação. Em condições normais de temperatura a vaca holandesa apresenta frequência respiratória em torno de 18 a 28 movimentos por minuto, a partir de 26°C os movimentos começam a aumentar. Em temperatura de 31°C, vacas holandesas apresentam em média 68 movimentos por minuto. Até 60 movimentos os animais não apresentam ainda sinais de estresse. Ultrapassando 120 movimentos já refletem carga excessiva de calor e acima de 160 se faz necessário adotar medidas emergenciais (Baccari, 2001).

Atualmente, os animais altamente eficientes em termos de produtividade têm demonstrado uma maior susceptibilidade a certas enfermidades e menor resistência aos fatores estressantes (Classen, 2000).

Em um ambiente quente e seco, a principal via de termólise dos animais é a evaporação, tanto a cutânea como a respiratória. A vantagem da evaporação é que não depende de um diferencial de temperatura, tal como a condução, a convecção e a radiação, mas sim do diferencial de pressão de vapor entre a atmosfera e a superfície em questão (Oliveira, 2007).

1.4.2. Temperatura Retal

Segundo Medeiros et al. (2007), nos animais que são normalmente ativos durante o dia, há uma variação da temperatura retal que é mínima, pela manhã e máxima no período da tarde. Porém, sob estresse térmico, principalmente no período da tarde, a variação da temperatura retal é marcante, evidenciando neste período uma hipertermia. Tal fato faz com que a temperatura do ar à tarde venha a ser a origem da temperatura retal elevada nos trópicos, principalmente no verão. Dessa forma, a temperatura retal é um importante indicador do balanço térmico animal que pode ser utilizada para avaliar o impacto do estresse térmico (Oliveira et al., 2005; Darcan et al., 2007).

Baccari (2001) observou que os índices de temperatura retal são influenciados pelo período do dia. À tarde apresenta-se 0,5 a 1,5°C mais elevada que pela manhã, e no verão é mais alta que no inverno. Um aumento na temperatura retal significa que o animal está estocando calor, e se este não é dissipado, o estresse calórico manifesta-se.

Perissinotto et al. (2009) relatam que uma forma de avaliar as respostas dos animais ao ambiente térmico é por meio da observação de alguns parâmetros fisiológicos, como a temperatura retal (TR) e a frequência respiratória (FR). As variações da TR e da FR podem ser influenciadas, tanto por fatores intrínsecos (idade, raça, estado fisiológico), quanto por fatores extrínsecos (hora do dia, ingestão de alimentos e de água, temperatura ambiente, velocidade do vento, estação do ano). Rocha (2008) em um trabalho realizado no município de Pacatuba-CE, objetivando avaliar a existência de estresse térmico em vacas leiteiras mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*), registrou temperaturas máximas do ar mensais, variando de 30,0°C a 34,9°C durante o ano de 2006, o que ocasionou, em determinado momento do dia, a ocorrência de temperatura retal máxima de 43°C nos meses de junho e julho.

Ferreira et al. (2006), em análise das respostas fisiológicas de bovinos cruzados (1/2 Gir x 1/2 Holandês) submetidos ao estresse térmico, observaram no período da tarde, independente da época do ano (verão ou inverno), temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido com valores de 43°C e 36°C, respectivamente.

Silva (2008) relatou que, em razão das diferenças na atividade metabólica dos diversos tecidos, a temperatura não é homogênea no corpo todo e varia de acordo com a região anatômica. As regiões superficiais apresentam temperatura mais variável e mais sujeitas às influências do ambiente externo. O mesmo autor afirmou que a temperatura retal é uma boa indicadora da temperatura corporal.

1.5. Zoneamento bioclimático

O bem-estar animal pode ser considerado uma demanda para que um sistema seja defensável eticamente e aceitável socialmente e, segundo Warris (2000), as pessoas desejam produtos de origem animal com qualidade e ética, isto é, produtos de animais que foram criados, tratados e abatidos em sistemas que promovam o seu bem-estar, e que sejam sustentáveis e ambientalmente corretos.

De acordo com Pires et al. (2003), o controle ambiental para a bovinocultura está se tornando um tópico muito popular, principalmente a partir da constatação, resultante de pesquisas de laboratório, dos efeitos adversos dos extremos ambientais sobre a produção. Sabe-se, por exemplo, que o animal com potencial genético para viver em clima temperado terá restrições em seu desempenho em climas tropicais. O zoneamento climático aparece, portanto, como condição básica no êxito das atividades agropecuárias. A influência direta do clima se processa principalmente pela temperatura do ar, radiação solar, e umidade relativa do ar, componentes climáticos que

condicionam as funções orgânicas envolvidas na manutenção do equilíbrio térmico do corpo. E, a indireta através da qualidade e quantidade de forragem indispensáveis à criação animal, e do favorecimento ou não de doenças infecto-contagiosas e parasitárias.

Turco et al. (2006) estabelecendo o zoneamento bioclimático e a espacialização do declínio da produção de leite de vacas leiteiras da raça Holandesa para o estado da Bahia, verificaram elevados valores de ITU, sendo considerado estressantes para exploração do gado leiteiro.

Oliveira et al. (2006) realizaram o zoneamento bioclimático da região sudoeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. Caracterizou-se, por meio do ITU, que o período entre os meses de maio e setembro apresentaram os menores riscos de desconforto térmico animal e de trabalhadores rurais.

Arcaro Júnior et al. (2001) compararam vacas em lactação em três tipos de instalação: sombra, sombra mais ventilação forçada e sombra com ventilação forçada associada à aspersão. Os autores relatam frequência respiratória mais baixa dos animais na instalação com ventilação forçada e produção de leite mais alta para os animais submetidos à sombra com ventilação associada à aspersão.

O zoneamento climatológico por meio do monitoramento das condições climáticas permite a previsão de áreas com probabilidade de ocorrência do estresse calórico, assim, pode-se conhecer as regiões de desconforto térmico para o gado leiteiro e as suas possíveis perdas pelas condições climáticas desfavoráveis, sendo essas ferramentas importantes para tomadas de decisão de técnicos e produtores que explorarão animais de maior nível de produção e de maior sensibilidade para as condições climáticas.

2. Referências

- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; COLDEBELLA, A.; et al.[2008]. **Estimativa da temperatura de globo negro (TGN) a partir da temperatura de bulbo seco (TBS) para o cálculo do índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR)**. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigoscod_artigo>. Acesso em: 5/09/2009.
- ALMEIDA, G.L.P.; PANDORF, H.; GUISELINI, C.; et al. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1337–1344, 2010.
- AL-TAMIMI, H.J. Thermoregulatory response of goat kids subjected to heat stress. **Small Ruminant Research**, v. 71, p. 280-285, 2007.
- ARCARO JR, I.; ARCARO, J.R.P.; POZZI, C.R.; et al. Produção e composição de leite de vacas holandesas em sala de espera climatizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 3., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, [2001]. (CD-ROM).
- AZEVEDO, M.; PIRES, M.F.A.; SATURNINO, H.M.; et al. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4, 7/8 holandeses-zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2000-2008, 2005.
- BACCARI JR., F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em clima quente**. Londrina: UEL, 2001. 142p.
- BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 2010. 269p.
- BARBOSA FILHO, J.A.D. **Caracterização quantitativa das características bioclimáticas e produtivas nas operações pré-abate de frangos de corte**. 2008. 174f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BLAIN, G.C.; PIEDADE, S.M.S; CAMARGO, M.B.P.; et al. Distribuição temporal da precipitação pluvial mensal observada no posto meteorológico do Instituto Agrônomo, em Campinas, SP. **Bragantia**, v.66, n.2, p.347-355, 2007.
- BROOM, D.M.; MOLENTO, C.F.M. Animal welfare: concept and related issues – Review. **Archives of Veterinary Science**, v.9, n.2, p.1-11, 2004.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, n.24, p.711-714, 1981.
- CARVALHO, L.E.; OLIVEIRA, S.M.P.; TURCO, S.H.N. Utilização da nebulização e ventilação forçada sobre o desempenho e a temperatura da pele de suínos na fase de terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1486-1491, 2004.
- CARRASCO, G.A.; VAN de KAR, L.D. Neuroendocrine pharmacology of stress. **European Journal of Pharmacology**, v.463, n.28, p.235-272, 2003.
- CASTRO, J.O.; CAMPOS, A.T.; SOUSA, F.A.; et al. Índice de temperatura equivalente para vacas leiteiras no município de Diamantina – MG. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 2009. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Zootecnia, 2009.

- CLASSEN, H.L. Managing metabolic disease in rapidly growing strains of poultry. In: HILL, W.G.; et al. **The challenge of genetic change in animal production**. Edinburgh: Journal of the British Society of Animal Science, 2000. p.63-64. (Occasional publication, 27).
- COELHO, L.A.; SASA, A.; NADER, C.E.; et al. Características do ejaculado de caprinos sob estresse calórico em câmara bioclimática. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.4, p.544-549, 2006.
- COLUMBIANO, V.S. **Identificação de QLT nos cromossomos 10, 11 e 12 associados ao estresse calórico em bovinos**. 2007. 60f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento Animal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- COSTA, M.J.R.P. Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. In: ENCONTRO ANUAL DE ETOLOGIA. 18, 2000, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Etologia, 2000, p.26-42.
- DARCAN, N.; CEDDEN, F.; GUNAY, O. Spraying effects on goat welfare in hot and humid climate. **American of Journal Animal and Veterinay Science**, v.2, n.4, p.99-103, 2007.
- DARCAN, N.; GÜNEY, O. Alleviation of climatic stress of dairy goats in Mediterranean climate. **Small Ruminant Research**, v.74, p.212-215, 2008.
- DEITENBACH, A.; FLORIANI, G.S.; DUBOIS, J.C.L.; et al. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2008. 2008.
- DHIMAN, T.R.; ZAMAN, M.S. Desafios dos sistemas de produção de leite em confinamento em condições de clima quente. In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE GADO DE LEITE, 2. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n.], p.5-20. 2001.
- EIGENBERG, R.A.; BROWN-BRANDL, T.M.; NIENABER, J.A.; et al. Dynamic response of feedlot cattle to shade and no-shade. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2002, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2002. [mimeo.].
- EIGENBERG, R.A.; NIENABER, J.A.; BROWN-BRANDL, T.M. Development of a livestock safety monitor for cattle. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2003, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. [mimeo.].
- FERREIRA, L.C.B. **Leite Orgânico**, Brasília: EMATER-DF, 38p. 2004.
- FERREIRA, F.; PIRES, F.A.; MARTINEZ, M.L.; et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.5, p.732-738, 2006.
- FERREIRA, F.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L.; et al. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.4, p.769-776, 2009.
- FERREIRA, L.C.B. **Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra**. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GAUGHAN, J.G.; GOOPY, J.; SPARK, J. **Excessive heat load index for feedlot cattle**. Sydney: MLA Ltda, 2002. (Meat and Livestock-Australia Project Report, 316). [mimeo.].
- GREENSPAN, F.S. **Endocrinologia Básica e Clínica**. 7.ed. Porto Alegre: Mcgraw-Hill Brasil, 2006. 521p.

- HAFEZ, E.S.E, **Reprodução Animal**, 7.ed. São Paulo: Manole, 2003, 530p.
- KAWABATA, C.Y. **Desempenho térmico de diferentes tipos de telhados em bezerreiros individuais**. 2006. 94f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Engenharia e Ciências dos Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- LEME, T.M.S.P.; PIRES, M.F.A.; VERNEQUE, R.S.; et al. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.668-675, 2005.
- LISTA, F.N.; CHIQUIERI, J.; NERY, V.L.H.; et al. [2005]. Criação de bovinos nos trópicos. **A Lavoura**, Setembro, p.16-19, 2005. Disponível em: <<http://www.sna.agr.br/artigos/654/BOVINOCULTURA.pdf>>. Acesso em: 05/10/2010.
- LUCY, M.C. Estratégias de manejo de vacas leiteiras para melhoria dos índices reprodutivos durante o verão. In: NOVOS ENFOQUES NA PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO DE BOVINOS. 5., 2001, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Pfizer, 2001. p.12-18.
- MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v.50, n.1, p.17-22, 2005.
- MARAI, I.F.M.; HABEEB, A.A.M.; GAD, A.E. Rabbits productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. **Livestock Production Science**, v.78, n.2, p.71-90, 2002.
- MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; PILAU, F.G. **Clima e Ambiente – Introdução à Climatologia para as Ciências Ambientais**. 1.ed. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008. 127p.
- MARTELLO, L.S. **Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em free-stall**. 2006. 106f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- MATARAZZO, S.V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento do tipo free-stall para vacas em lactação**. 2004. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MEDEIROS, L.F.D.; VIEIRA, D.H.; OLIVEIRA, C.A.; et al. Avaliação de parâmetros fisiológicos de caprinos SPRD (sem padrão racial definido) pretos e brancos de diferentes idades, à sombra, no município do Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira da Indústria Animal**, v.64, n.4, p.277-287, 2007.
- MEYER, U.; STAHL, W.; FLACHOWSKY, G. Investigations on the water intake of growing bulls. **Livestock Production Science**, n.103, p.186-191, 2006.
- MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIRO, Y.; et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, v.26, p.427-431, 2001.
- MORRISON, D.G. Enhancing production and reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. **Multistate Project S-299**, p.2-25, 2000.
- NÄÄS, I.A.; ARCARO Jr, I. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.139-142, 2001.
- NEIVA, J.N.M.; TEIXEIRA, M.; TURCO, H.N.; et al. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em

- confinamento na região litorânea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3, p.668-678, 2004.
- OLIVEIRA, F.M.M.; DATAS, R.T.; FURTADO, D.A.; et al. Parâmetros de conforto térmico e fisiológico de ovinos Santa Inês sob diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.9, n.4, p.631-635, 2005.
- OLIVEIRA, L.M.F.; YANAGI JR, T.Y.; FERREIRA, E.; et al. Zoneamento bioclimático da Região Sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Revista Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.823-831, 2006.
- OLIVEIRA, A.L. **Mecanismos termorreguladores de cabras da raça Saanen**. 2007. 96f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal.
- PASSINI, R.; FERREIRA, F.A.; BORGATTI, L. M.O.; et al. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. **Revista Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.31, n.3, p.303-309, 2009.
- PEREIRA, C.C.J. **Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal**. 1.ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.
- PEREIRA, J.C.; CUNHA, D.F.V.; CECON, P.R.; et al. Desempenho, temperatura retal e frequência respiratória de novilhas leiteiras de três grupos genéticos recebendo dietas com diferentes níveis de fibra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.328-334, 2008.
- PERISSINOTTO, M.; CRUZ, V.F.; PEREIRA, A.; et al. Influência das condições ambientais na produção de leite da vacaria da Mitra. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p.134-149, 2007.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D.J.; CRUZ, V.F.; et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Revista Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1492-1498, 2009.
- PIRES, M.F.A.; CAMPOS, A.T. **Conforto Animal para maior produção de leite**. 1.ed. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2008. 254p.
- PIRES, M.F.A.; CAMPOS, A.T. [2011]. **Relação dos dados climáticos com o desempenho animal**. Disponível em: <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/nova/aula/aula/artigos/ambiencia04.pdf?pesquisador=175enome=>> Acesso: 17/05/2011.
- PIRES, M.F.A.; SILVA JR., J.L.C.; CAMPOS, A.T.; et al. Zoneamento da região Sudoeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** – Embrapa, Juiz de Fora. 21p. 2003.
- PORCIONATTO, M.A.F., FERNANDEZ, A.M., SARAN NETTO, A.; et al.. Influência do estresse calórico na qualidade e na produção de leite. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.4, p.483-490, 2009.
- ROCHA, D.R. **Avaliação de estresse térmico em vacas leiteiras mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) criadas em clima tropical quente e úmido no estado do Ceará**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- RODRIGUES, A.L.; SOUZA, B.B.; PEREIRA FILHO, J.M. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.6, n.2, 2010 p.14–22.
- ROSSAROLLA, G. **Comportamento de vacas leiteiras da raça holandesa, em pastagem de milho com e sem sombra**. 2007. 46f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Rurais – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

- SAMPAIO, C.A.P.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J.A.; et al. Avaliação do ambiente térmico em instalações para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Revista Ciência Rural**, v.34, n.3, p.785-790, 2004.
- SIQUEIRA, T.C.P.A.; AKUTSU, M.; LOPES, J.I.E.; et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. REM: **Revista Escola de Minas**, v.58, n.2, p.133-138, 2005.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, v.67, n.1, p.1-18, 2000.
- SILVA, I.J.O.; PANDORF, H.; ACARARO Jr., I.; et al. Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2036-2042, 2002.
- SILVA, E.M.N.; SOUZA, B. B.; SILVA, G.A.; et al. Avaliação da adaptabilidade de caprinos exóticos e nativos no semi-árido paraibano. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.516-521, 2006.
- SILVA, R.G.; MORAIS, D.A.E.F.; GUILHERMINO, M.M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.1192-1198, 2007.
- SILVA, R.G. **Biofísica ambiental. Os animais e seu ambiente**. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2008, 393p.
- SILVA, E.C.L.; MODESTO, E. C.; AZEVEDO, M.; et al. Efeitos da disponibilidade de sombra sobre o desempenho, atividades comportamentais e parâmetros fisiológicos de vacas da raça Pitangueiras. **Revista Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.31, n.3, p.295-302, 2009.
- SOUZA, B. B.; SILVA, R.M.N.; MARINHO, M.L.; et al. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça sindi no semi-árido paraibano. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.883-888, 2007.
- SOUZA, J.D.; SILVA, B.B.; CEBALLOS, J.C. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.1, p.31-44, 2008.
- SOUZA, P.T. **Estresse térmico em cabras saanen nos períodos seco e chuvoso criadas em clima tropical quente e úmido no estado do ceará**. 2010. 60f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- STARLING, J.M.C.; SILVA, R.G.; CERON-MUÑOZ, M.; et al. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2070-2077, 2002.
- TEIXEIRA, M. **Efeito do estresse climático sobre parâmetros fisiológicos e produtivos em ovinos**. 2000. 62f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.
- TURCO, S.H.N.; SILVA, T.G.F.; SANTOS, L.F.C.; et al. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado da Bahia. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.20-27, 2006.
- WARRISS, P.D. **Meat science: an introductory text**. 1.ed. Wallingford: CABI Publishing, 2000. 310p.

II - OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um índice de conforto térmico para bovinos de leite.

Determinar o índice de conforto térmico mais preciso em expressar o estresse térmico para vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite nas localidades analisadas.

Estabelecer um zoneamento bioclimático para a bovinocultura de leite na região sul do Brasil e avaliar o declínio da produção de leite de vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite, utilizando o índice de conforto térmico.

III - Índice de conforto térmico para bovinos de leite

RESUMO. Objetivando desenvolver um índice de conforto térmico para bovinos de leite foram utilizadas 150 vacas leiteiras da raça Holandesa semiconfinadas, em três localidades (Cascavel – PR, Chapecó – SC e Erechim – RS). As variáveis ambientais consideradas foram: temperatura do ar, pressão parcial de vapor, velocidade do vento e temperatura do globo negro. As respostas registradas dos animais ao ambiente foram: temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e nível de produção de leite diário (NP). A interação destas respostas dos animais ao ambiente foram descritas por meio da análise de trilha e regressão. O índice foi desenvolvido utilizando a análise de componentes principais e comparado com alguns índices de conforto térmico por meio de análise de correlação. O índice estimado pelo primeiro componente principal (Y1) apresentou 56,76% da explicação das variáveis do clima analisadas e obteve correlação de 0,2034 com a temperatura retal, 0,1581 com a frequência respiratória e -0,2535 com o nível de produção de leite das vacas, sendo considerado o melhor índice para avaliação do estresse térmico de vacas da raça Holandesa em lactação.

Palavras-chaves: avaliação do ambiente, estresse térmico, gado leiteiro

Thermal comfort index for dairy cattle

ABSTRACT. Aiming to develop a thermal comfort index for dairy cattle there were used 150 Holstein dairy cows semi-confined in three locations (Cascavel - PR, Chapecó - SC and Erechim - RS). The environmental variables considered were: air temperature, air humidity, wind speed and black globe temperature. The recorded responses of animals to the environment were: rectal temperature (RT), respiratory rate (RR) and level of daily milk production (MP). The interaction of these animals' responses to the environment was described by means of path analysis and regression. The index was developed using principal component analysis and compared with some indices of thermal comfort using correlation analysis. The rate estimated by the first principal component (Y1) has 56.76% of explanations of climate variables analyzed and obtained correlation of 0.2034 with the rectal temperature, respiratory rate of 0.1581 and -0.2535 with the level of milk production of cows, considered the best index to evaluate the thermal stress of Holstein cows in lactation.

Key words: assessment of environmental, heat stress, dairy cattle

Introdução

Dois terços do território brasileiro estão situados na região tropical, tendo predominância de temperaturas elevadas, conseqüentes da alta incidência de radiação solar. A maior parte da produção de leite do Brasil, concentra-se nas regiões Sudeste 50% e Sul 23%. Entre os estados da região Sul, Rio Grande do Sul lidera a produção com 9,93%, ficando em segundo lugar Paraná com 8,32% e Santa Catarina com 4,60% da produção de leite nacional (Azevedo et al., 2005).

Nos trópicos um problema na adaptação de raças leiteiras de origem europeia ao clima, que por sua alta produtividade sofrem com problemas fisiológicos e comportamentais causados pelo estresse térmico diminuindo sua produção (Silva et al., 2002). O estresse calórico é um típico problema encontrado no manejo de vacas leiteiras nos trópicos e sub-trópicos, causando reduções na produção e mudanças na composição do leite, redução na ingestão de alimentos e aumento na ingestão de água. A perda de produção de leite pelo aumento de temperatura depende de fatores como a umidade relativa do ar, velocidade do vento, nutrição e outros fatores relacionados ao manejo. No entanto, são frequentemente observadas perdas produtivas de 10% ou mais (Baeta e Souza, 2010).

Os animais precisam de condições climáticas ótimas para o desempenho produtivo eficiente. Com o desenvolvimento tecnológico da bioclimatologia alguns índices estão sendo usados nos estabelecimentos destes limites de condições ambientais ideais (Silva, 2008).

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um índice de conforto térmico para bovinos de leite e determinação do índice mais preciso para as particularidades das localidades analisadas.

Material e Métodos

Foram utilizadas no total 150 vacas leiteiras da raça holandesa em início da lactação de rebanhos localizados nas cidades de Cascavel – Paraná (Latitude: 24°57' sul, Longitude: 53°27' oeste e Altitude: 786,00 metros), Chapecó – Santa Catarina (Latitude: 27°07' sul , Longitude: 52°37' oeste e Altitude: 679,01 metros) e Erechim – Rio Grande do Sul (Latitude: 27°38' sul , Longitude: 52°16' oeste e Altitude: 793,00 metros).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, sendo que em cada estado foi analisado um rebanho de 50 animais durante dois períodos experimentais de 30 dias na estação do verão, sendo que para o estado do Rio Grande do Sul ocorreu apenas um período de coleta com 49 dias, sendo registradas 8450 observações nas diferentes localidades. O estado sanitário dos animais foi de acordo com os padrões de uma criação comercial, sendo o manejo de controle das doenças e parasitas efetuado rotineiramente.

Os animais foram manejados em sistema de semiconfinamento, expostos ao sol de manhã (8h30) e à tarde (13h00), sendo medidas temperatura retal (TR, °C) e frequência respiratória (FR, mov.min⁻¹). O nível de produção de leite (NP, kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) das vacas foi mensurado nas duas ordenhas diárias utilizando medidores de leite.

As variáveis ambientais medidas foram: temperatura do ar (Ta, °C), pressão parcial de vapor (Pv, kPa) e a velocidade do vento (Vv, m.s⁻¹) por meio de um termoanemômetro (Kestrel 3000[®]), e a radiação com o uso de um globo de Vernon de 0,15 m de diâmetro, colocado a 1,6 m acima do solo simulando a altura do dorso dos animais. A medida da temperatura do globo negro (Tg, °C) foi usada para estimar a carga térmica radiante (CTR), conforme Baeta & Souza (2010).

A carga térmica radiante é dada por:

$$CTR = \sigma T_{rm}^4, \text{ W.m}^{-2}$$

sendo, σ = constante de Stefan-Boltzmann, $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°K}$

T_{rm} = temperatura radiante média (°K)

sendo

$$T_{rm} = 100 [2,51 Vv^{0,5} (Tg - Ta) + ((Tg+273,15)/100)^4]^{0,25},$$

sendo Tg = temperatura do globo negro, °C; Ta = temperatura do ar, °C;

Os dados foram submetidos à análise de trilha através do estudo do desdobramento do coeficiente de correlação entre as variáveis dependentes (TR, FR e NP) e as variáveis independentes (Ta , Pv , Vv e Tg) em efeitos diretos e indiretos.

Foram geradas equações de predição, por meio de regressões múltiplas, para predição das variáveis fisiológicas (TR e FR) e de produção (NP) das vacas em lactação em função dos fatores ambientais (Ta , Pv , Vv e Tg). As equações foram correlacionadas com a TR, FR e NP dos animais para determinar a capacidade na explicação das respostas dos animais ao clima das diferentes localidades. Os modelos para as regressões múltiplas foram:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + e_i$$

em que, Y_i = TR (°C); FR (mov.min⁻¹); e NP (kg.vaca⁻¹.dia⁻¹); X_1 = Ta (°C); X_2 = Pv (kPa); X_3 = Vv (m.s⁻¹); X_4 = Tg (°C); e_i = erro

Para a obtenção do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}), assume-se que os elementos ambientais como a temperatura e umidade do ar, radiação solar e o vento não podem ser avaliados separadamente com respeito aos seus efeitos nas respostas fisiológicas dos animais. Estes elementos agem em conjunto e dada resposta fisiológica é uma função de suas ações combinadas.

As informações de diversas variáveis podem ser sintetizadas em um único valor, através de uma análise de componentes principais, descrita por Johnson & Wichern (1988). O valor que resume as informações, y_i , é uma função linear das variáveis

consideradas, $\mathbf{y}_i = \mathbf{e}_i \mathbf{x}$, onde \mathbf{x} é o vetor-coluna das medidas feitas nas variáveis e \mathbf{e}_i é o i -ésimo autorvetor obtido a partir do i -ésimo autovalor da matriz \mathbf{R} das correlações entre as variáveis.

Esses autovetores, λ_i , são estimados considerando a restrição de que $\mathbf{R}\mathbf{y}_i\mathbf{I}=\mathbf{0}$. Os autovetores são obtidos a partir da relação $\mathbf{R}\mathbf{e}_i = \lambda_i\mathbf{e}_i$, devendo cada vetor \mathbf{e}_i , satisfazer a condição em que $\mathbf{e}_i \mathbf{e}_i = \mathbf{1}$.

A magnitude do valor do j -ésimo elemento do vetor \mathbf{e}_i mede a importância da j -ésima variável para a constituição do i -ésimo componente principal, independente quanto as outras variáveis. Em particular, esse j -ésimo elemento é proporcional ao coeficiente da correlação entre y_i , e o j -ésimo elemento do vetor \mathbf{x} .

O índice escolhido deve ser o vetor \mathbf{e}_1 , ou seja, o autovetor que corresponde a maior raiz, λ_1 , a qual por sua vez esta associada as maiores variâncias. Após o desenvolvimento do ICT_{bl}, este foi comparado com alguns dos índices de conforto térmicos mais utilizados, seguindo a metodologia proposta por Silva, et al. (2007), em que o melhor índice de conforto térmico é aquele que apresenta os maiores valores de correlação com as variáveis fisiológicas dos animais.

Sete índices foram considerados:

- a) Índice de Temperatura e Umidade (Thom, 1959):

$$ITU = T_a + 0,36T_{po} + 41,5$$

Em que:

T_{po} é a temperatura de ponto de orvalho (°C).

- b) Índice de Globo Negro e Umidade (Buffington et al., 1981):

$$ITGU = T_g + 0,36T_{po} + 41,5$$

c) Índice de Temperatura Equivalente (Baeta & Souza, 2010):

$$\text{ITE} = 27,88 - 0,456T_a + 0,01075T_a^2 - 0,4905U_r + 0,00088U_r^2 + 1,1507V_v - 0,12644V_v^2 + 0,019876T_aU_r - 0,046313T_aV_v$$

d) Índice de estresse ambiental (Moran et al., 2001):

$$\text{IEA} = 0,63T_a - 0,03U_r + 0,02S + 0,0054T_aU_r - 0,073(0,1 + S)^{-1}$$

e) Índice de Carga Térmica (Gaughan et al., 2002):

$$\text{ICT} = 33,2 + 0,2U_r + 1,2T_g^* - (0,82V_v)^{0,1} - \log(0,4V_v^2 + 0,0001)$$

$$T_g^* = 1,33 - 2,65T_a^{1/2} + 3,21 \log(S+1) + 3,5$$

Sendo:

T_g^* a temperatura do globo prevista ($^{\circ}\text{C}$).

f) Índice de FR (Eigenberg et al., 2003):

$$\text{IFR} = 5,4T_a + 0,58U_r - 0,63V_v + 0,024S - 110,9$$

Sendo:

U_r a umidade relativa do ar (%) e S a irradiação solar ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

g) Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite (ICT_{bl})

$$\text{ICT}_{\text{bl}} = 0,6354T_a + 0,6312T_g + 0,4438P_v + 0,0310V_v$$

Os índices acima foram calculados para cada combinação das variáveis ambientais correspondentes às medições realizadas nos animais, a fim de assegurar que cada resposta animal estava associada a uma determinada condição do ambiente.

Para a análise das variáveis estudadas foi utilizado o sistema de análise estatística e genética SAEG-UFV, versão 9.1 (2007) e as inferências obtidas foram avaliadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, observa-se que a FR dos animais analisados na cidade de Chapecó/SC foi maior ($P < 0,05$) com valor de $67,31 \text{ mov}\cdot\text{min}^{-1}$ que as demais

localidades. A TR de 38,51°C das vacas observadas em Chapecó foi semelhante à obtida na cidade de Cascavel/PR com valor de 38,48°C e superior as observadas nos animais de Erechim/RS com valor de 38,12°C.

Tabela 1. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis fisiológicas, ambientais e do nível de produção de leite em três localidades na região sul do Brasil.

Variáveis	Cascavel - PR	Chapecó - SC	Erechim - RS	CV%
Frequência respiratória (mov.min ⁻¹)				
Média	58,16 ^b	67,31 ^c	57,33 ^a	13,47
Variação	32 a 90	34 a 104	46 a 72	-
Temperatura retal (°C)				
Média	38,48 ^b	38,51 ^b	38,12 ^a	0,79
Variação	37,5 a 39,9	37,7 a 40,0	37,5 a 39,4	-
Temperatura do ar (°C)				
Média	26,99 ^b	27,44 ^c	26,56 ^a	4,5
Variação	23,7 a 30,2	25,7 a 30,0	22,4 a 29,0	-
Pressão parcial de vapor (kPa)				
Média	2,51 ^b	2,5 ^b	2,45 ^a	13,08
Variação	1,7 a 3,3	1,9 a 3,0	1,9 a 3,1	-
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)				
Média	1,11 ^b	1,49 ^c	1,03 ^a	24,01
Variação	0 a 2,05	0,55 a 2,10	0,1 a 2,1	-
Temperatura do globo negro (°C)				
Média	35,91 ^b	36,33 ^c	34,92 ^a	6,2
Variação	30,5 a 42,5	32,8 a 41,0	28,3 a 40,0	-
Nível de produção de leite (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)				
Média	17,73 ^a	25,89 ^c	18,57 ^b	12,04
Variação	12 a 25	18 a 33	11 a 28	-

Médias seguidas de letras na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

As maiores respostas fisiológicas (FR e TR) observadas nas vacas na cidade de Chapecó/SC pode ter ocorrido pelas maiores Ta (27,44°C) e Tg (36,33°C) e/ou devido

ao metabolismo mais acelerado em virtude dos maiores níveis de produção de leite ($25,89 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), gerando assim maior quantidade de calor endógeno que pode ter provocado estas alterações fisiológicas. Perissinotto et al. (2006) observaram FR com valores de 61 mov.min^{-1} , porém, não alterando a TR dos animais, que em condições termoneutras está entre 38 e $39,5^{\circ}\text{C}$.

Apesar das diferenças na TR nos animais das diferentes localidades analisadas, todas estão dentro da faixa termoneutra, demonstrando que apesar da variação climática entre as localidades não foi suficientemente elevada para aumentar a TR dos animais a níveis de desconforto térmico. Sob estresse térmico, primeiramente ocorre o aumento da FR para manutenção da TR (Ferreira et al., 2006). Segundo Baccari Jr. (2001) as vacas em lactação são particularmente sensíveis ao estresse térmico pela sua função produtiva específica que requer uma grande disponibilidade energética e intensa atividade metabólica que conduz a uma grande produção de calor endógeno.

Os dados de FR e TR observados indicam que nas condições ambientais às quais os animais foram submetidos, as formas latentes de perdas de calor foram suficientes para manter a TR nos limites considerados normais.

Segundo Martello et al. (2004), para o período lactacional, os limites ideais de temperatura do ar devem estar em torno de 4 a 24°C , havendo uma restrição para um limite entre 7 e 21°C por causa da ação da radiação solar e da umidade relativa. A temperatura média das três localidades foi de $27,03^{\circ}\text{C}$ com valores significativamente maiores para a cidade de Chapecó/SC com temperatura de $27,44^{\circ}\text{C}$. Embora as temperaturas do ar observadas neste estudo sejam superiores as preconizadas em literatura, os animais não apresentaram respostas fisiológicas consideradas de estresse térmico, assim, pode-se indicar que haja adaptação dos animais ao clima da região.

De acordo com Mota (2001), a faixa de Tg considerada ótima para vacas em lactação é de 7 a 26°C; regular, entre 27 e 34°C, regular e crítica acima de 35°C. Os valores médios de Tg nas três localidades (35,91°C em Cascavel/PR; 36,33°C em Chapecó/SC e 34,92°C em Erechim/RS) foram superiores aos citados em literatura, porém não foram evidenciadas alterações nas respostas fisiológicas (acima de níveis considerados como conforto térmico) dos animais, o que pode indicar adaptabilidade dos animais da raça Holandesa às condições climáticas destas regiões.

A maior velocidade do vento foi observada na cidade de Chapecó/SC com valor de 1,49 m.s⁻¹, seguido respectivamente pelas cidades de Cascavel/PR com valor de 1,11 m.s⁻¹ e Erechim/RS com valor de 1,03 m.s⁻¹. Baeta & Souza (2010) consideram que para bovinos as melhores velocidade dos ventos de 5 a 8 km.h⁻¹ (1,39 a 2,22 m.s⁻¹) possibilitando maior perda de calor.

Os parâmetros fisiológicos dos animais das três localidades analisadas não apresentaram valores considerados em literatura como de estresse térmico. Assim apesar da variação existente entre as localidades, as vacas leiteiras mostram estar dentro da zona de conforto térmico, podendo indicar adaptação às condições climáticas das regiões estudadas.

Interação entre ambiente e animais

Na Tabela 2, estão demonstradas o desdobramento das correlações em componentes de efeitos diretos e indiretos, envolvendo as variáveis dependentes (FR, TR e NP) e as variáveis independentes explicativas ambientais (Ta, Pv, Vv e Tg). Assim é possível avaliar conjuntamente o efeito das variáveis ambientais sobre as respostas fisiológicas dos animais.

A FR mostrou estar correlacionada diretamente com a Ta ($r = 0,3773$) e com a Vv ($r = 0,1881$), enquanto a correlação com a Pv e Tg, ocorreu indiretamente via Ta ($r_{Pv} = 0,1683$ e $r_{Tg} = 0,3601$), respectivamente.

Tabela 2. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis fisiológicas para vacas da raça Holandesa.

Variável	Via	FR	TR	NP
Efeito Direto de Ta		0,3773	-0,0900	0,4301
Efeito Indireto de Ta	Via Pv	-0,0552	-0,0408	-0,0396
Efeito Indireto de Ta	Via Vv	0,0167	0,0133	0,0281
Efeito Indireto de Ta	Via Tg	-0,1592	0,3172	-0,6245
Total - Diretos e Indiretos		0,1797	0,1996	-0,2060
Efeito Direto de Pv		-0,1238	-0,0915ns	-0,0890
Efeito Indireto de Pv	Via Ta	0,1683	-0,0402	0,1918
Efeito Indireto de Pv	Via Vv	-0,0145	-0,0116	-0,0244
Efeito Indireto de Pv	Via Tg	-0,0711	0,1417	-0,2790
Total - Diretos e Indiretos		-0,0412	-0,0015	-0,2007
Efeito Direto de Vv		0,1881	0,1501	0,3164
Efeito Indireto de Vv	Via Ta	0,0335	-0,0079	0,0382
Efeito Indireto de Vv	Via Pv	0,0095	0,0071	0,0069
Efeito Indireto de Vv	Via Tg	-0,0065	0,0129	-0,0254
Total - Diretos e Indiretos		0,2247	0,1620	0,3360
Efeito Direto de Tg		-0,1668	0,3323	-0,6543
Efeito Indireto de Tg	Via Ta	0,3601	-0,0859	0,4105
Efeito Indireto de Tg	Via Pv	-0,0528	-0,3901	-0,0379
Efeito Indireto de Tg	Via Vv	0,0073	0,0058	0,0123
Total - Diretos e Indiretos		0,1479	0,2132	-0,2696
Coefficiente de Determinação		0,0905	0,0773	0,2120

Ta = temperatura do ar; Pv = pressão parcial de vapor; Vv = velocidade do vento; Tg = temperatura do globo negro; FR = frequência respiratória; TR = temperatura retal; NP = nível de produção de leite; ns = não significativo

Para a TR, a correlação com a Ta e Pv, ocorreu indiretamente via Tg ($r = 0,3172$ e $r = 0,1417$, respectivamente), enquanto com a Vv e a Tg, a correlação foi direta ($r = 0,1501$ e $r = 0,3323$, respectivamente).

Em situações de elevada Ta as vacas leiteiras acionaram de maneira mais acentuada a liberação de calor pela respiração mantendo a termorregulação. Embora ocorra influência dessa variável sobre a resposta termorreguladora, a TR em animais em conforto térmico como observados neste estudo, tem efeito posterior ao pico de estresse pela temperatura.

Porcionatto et al (2009) relatam que a temperatura ambiental afeta diretamente a produção de leite, e que a diminuição na produção de leite das vacas em estresse térmico por calor se deve, principalmente a redução na ingestão de alimentos, a hipofunção da tireoide e pela energia despendida para eliminar o excesso de calor corporal. A redução no consumo de alimentos é maior quanto mais intensa a temperatura ambiental, e que seria devido principalmente à inibição, pelo calor, do centro do apetite, localizado no hipotálamo, resultante da hipertermia corporal, que pode resultar em um decréscimo de 17% na produção de leite de vacas de 15 kg.dia⁻¹ e de 22% em vacas de 40 kg.dia⁻¹.

O maior efeito indireto da Pv sobre a FR foi por meio da Ta com valor de 0,1683. Esse efeito pode ser em virtude da associação entre temperatura e umidade afetar o conforto térmico dos animais. A elevada pressão parcial de vapor pela alta umidade do ar associado a alta temperatura do ar pode conduzir a menor evaporação da água contida no animal para o meio, tornando o resfriamento do animal mais lento.

Somente a pressão parcial de vapor não promoveu alterações na FR dos animais, sendo interessante uma avaliação conjunta entre pressão parcial de vapor e temperatura do ar. De forma semelhante Passini et al. (2009) relatam que as condições ambientais

temperatura ambiente e umidade relativa do ar são inter-relacionadas e seus efeitos combinados devem ser considerados quando se determina a influência do estresse térmico sobre o desempenho dos animais.

A velocidade do vento é de grande importância nas trocas convectivas, com envolvimento direto na alteração das variáveis fisiológicas. O aumento da velocidade do vento promove uma elevação linear positiva na FR dos animais. A movimentação do ar é considerada um fator indispensável para melhoria das condições ambientais, porque influi na perda de calor pela superfície corporal através da evaporação da umidade da pele do animal.

Embora a velocidade do vento não tenha reduzido os valores fisiológicos observa-se que seu aumento promove uma elevação linear no NP dos animais. Este aumento da produção de leite pode ser em razão do efeito direto do vento que aumenta as perdas de calor pela superfície corporal por meio da evaporação da umidade da pele dos animais, promovendo melhor conforto térmico e bem-estar animal.

A elevação na temperatura do globo negro promove o aumento ($P < 0,01$) da FR e da TR dos animais. Esta informação tem grande relevância, pois animais semi-confinados são expostos a radiação solar direta durante grande parte do dia, promovendo alterações nas variáveis fisiológicas dos animais.

O nível de produção é influenciado linearmente pela temperatura do globo negro, e quanto maior a temperatura do globo negro maiores são as perdas na produção de leite. Este efeito de queda na produção pode ser pela exposição dos animais semiconfinados a radiação solar. Para Silva (2008) quanto maior for a intensidade da radiação solar e o tempo de permanência da mesma sobre os animais, maior será o estresse sofrido pelos bovinos e conseqüentemente maiores as perdas de produção. Schutz et al. (2009) relatam que o fornecimento de locais sombreados que oferecem

uma maior proteção contra a radiação solar, amenizam o estresse calórico e promove aumento na produção leiteira.

Os coeficientes de determinação do desdobramento das correlações das variáveis fisiológicas em relação às variáveis ambientais foram baixos, com valores de 0,0905 para FR e 0,0773 para a TR. Isto pode indicar que as variáveis ambientais analisadas nos períodos, não promoveram grandes alterações nas variáveis fisiológicas, provavelmente por causa da adaptação dos rebanhos estudados às condições climáticas. Pereira et al. (2008) em estudo com novilhas leiteiras na Zona da Mata Mineira observaram que as variáveis do ambiente não promoveram alterações na FR e TR dos animais, possivelmente pela adaptação destes ao clima da região. O coeficiente de determinação do desdobramento das correlações do NP em relação às variáveis ambientais foi de 0,2120, indicando que as variáveis ambientais promovem alterações no nível de produção das vacas da raça Holandesa.

Tabela 3. Equações de regressão da frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e nível de produção de leite (NP) de vacas da raça Holandesa em função das variáveis ambientais.

Respostas	Variáveis ambientais	
	Temperatura do ar (°C)	
FR (mov.min ⁻¹)	$y = 111,335 - 4,93672x + 0,1133x^2$	0,0557
TR (°C)	$y = 49,0168 - 0,8067x + 0,0154x^2$	0,0412
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	$y = 50,7797 - 1,0919x$	0,1049
	Pressão parcial de vapor (kPa)	
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	$29,804 - 3,4239x$	0,0892
	Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	
FR (mov.min ⁻¹)	$y = 56,4245 + 3,6486x$	0,0411
TR (°C)	$y = 38,257 + 0,1061x$	0,0602
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	$y = 17,5050 + 3,1255x$	0,1090
	Temperatura do globo negro (°C)	
FR (mov.min ⁻¹)	$y = 79,9763 - 1,6044x + 0,0298x^2$	0,0644
TR (°C)	$y = 43,9646 - 0,3173x + 0,0046x^2$	0,0945
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	$y = 47,1452 - 0,7234x$	0,1138

Considerando a equação determinantal $|\mathbf{R} - \lambda\mathbf{I}| = 0$, as raízes ou autovalores estimados de \mathbf{R} foram:

$$\lambda = \begin{array}{c} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{array} = \begin{array}{c} 2,2703 \\ 1,0326 \\ 0,6527 \\ 0,0444 \end{array}$$

Sendo λ_1 sozinho explica 56,76% da variância total.

Os autovetores correspondentes foram obtidos a partir da relação $Re_1 = \lambda_1 e_1$, constituindo a matriz:

$$\mathbf{E} = [e_1 \ e_2 \ e_3 \ e_4]$$

$$\mathbf{E} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 0,6354 & 0,0926 & -0,2824 & -0,7127 \\ 0,6312 & 0,0542 & -0,3293 & 0,7002 \\ 0,4438 & -0,2765 & 0,8521 & 0,0221 \\ 0,0310 & 0,9550 & 0,2927 & 0,0358 \end{array} \end{array}$$

Em que: os autovetores e_i são as colunas, e atendem à condição de que $e_i' e_i = 1$.

O primeiro componente principal, no caso, constitui o índice desejado, sendo:

$$Y_1 = e_1' x,$$

o x é o vetor das medidas ambientais,

$$x = [T_a \ T_g \ P_v \ V_v]$$

obtendo finalmente o Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite:

$$ICT_{bl} = 0,6354T_a + 0,6312T_g + 0,4438P_v + 0,0310V_v$$

O primeiro componente principal $Y1 = e1 'x$, apresenta maiores correlações para as variáveis Ta com valor de 0,9575 e Tg com 0,9506. Seguindo uma correlação de 0,6592 com a Pv e a Vv com valor de 0,0545 (Tabela 4).

Tabela 4. Correlações entre os componentes principais (Y1, Y2, Y3 e Y4) e as variáveis ambientais (Ta, Tg, Pv e Vv).

Componentes	Ta	Tg	Pv	Vv
Y1	0,9575	0,9506	0,6592	0,0545
Y2	0,0952	0,0525	-0,294	0,9675
Y3	-0,2256	-0,2669	0,6921	0,2470
Y4	-0,1522	0,1494	0,0050	0,0084

Ta = temperatura do ar; Pv = pressão parcial de vapor; Vv = velocidade do vento; Tg = temperatura do globo negro.

Os graus de importância das variáveis ambientais foram semelhantes aos encontrados no trabalho de Souza et al. (2007) em que a temperatura do ar representa a principal influência climatológica sobre as variáveis fisiológicas, TR e FR, seguidas, em ordem de importância, pela radiação solar, a umidade relativa do ar e o movimento do ar.

O segundo componente principal $Y2 = e2 'x$, avalia principalmente o efeito da Vv. O terceiro componente, $Y3 = e3 'x$, está associado aos efeitos da Pv e a Vv. O quarto componente principal, $Y4 = e4 'x$, está correlacionado principalmente com a temperatura do globo negro. A eficiência dos componentes principais como índices de efeito ambiental, no caso presente, pode ser apreciada pelos coeficientes de correlação com as respostas dos animais (Tabela 5).

Tabela 5. Correlações entre os componentes principais (Y1, Y2, Y3 e Y4) e a temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e nível de produção de leite (NP) de vacas da raça Holandesa.

Variáveis	Y1	Y2	Y3	Y4
Temperatura retal	0,2034	0,2334	-0,1974	0,1895
Frequência respiratória	0,1581	0,2809	-0,1528	0,1041
Nível de produção	-0,2535	0,2263	0,2707	-0,3061

Foi observado que o segundo componente principal (Y2) apresentou as maiores correlações com as variáveis fisiológicas analisadas. Porém, este autovetor não foi utilizado como índice de conforto térmico pela sua baixa explicação (25,86%) das variáveis ambientais.

O índice estimado pelo primeiro componente principal (Y1) obteve correlação de 0,2034 com a TR e 0,1581 com a FR. Embora estas correlações sejam menores quando comparadas as observadas para o Y2, o primeiro componente principal foi selecionado como ICT_{bl}, pois apresenta 56,76% da explicação das variáveis do clima analisadas. Este autovetor se correlaciona principalmente a Ta e temperatura do globo negro, com isso, avalia a radiação incidente sobre os animais, que o torna interessante quando se trabalha com animais não estabulados.

O componente principal Y1 obteve correlação de -0,2535 com o NP dos animais, indicando efeito inversamente proporcional a produção. Ou seja, quanto maiores os valores do Y1 (em função do estresse ambiental) menores os níveis de produção das vacas da raça Holandesa.

O terceiro componente principal Y3 explica 16,56% das variáveis climáticas analisadas e apresentou correlações negativas para TR de -0,1974, FR de -0,1528 e positivas para nível de produção 0,2707. O componente principal Y4 se correlacionou com a TR com valor de 0,1895 e 0,1041 para FR.

Desenvolvimento das equações de predição das variáveis fisiológicas e produção

Os relacionamentos entre as variáveis fisiológicas e nível de produção das vacas em lactação e os fatores ambientais supostamente envolvidos na sua regulação são complexos. A presença de colinearidade múltipla entre as variáveis independentes e a dependente auxilia o entendimento acerca de suas contribuições individuais na explicação do fenômeno. As respostas para TR, FR e NP para vacas holandesas foram descritas por meio de regressão múltipla em função das variáveis ambientais (Ta, Pv, Vv e Tg) (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativa dos coeficientes da equação de regressão múltipla para predição das respostas fisiológicas e do nível de produção de vacas da raça Holandesa em função das variáveis ambientais.

Variável	TR	FR	NP
Intercepto	38,0706	21,0580	34,3549
Temperatura do ar (°C)	-	2,3247	1,2031
Pressão parcial de vapor (kPa)	-0,1073	-3,6730	-1,2545
Velocidade do vento (m/s)	0,1431	3,1568	2,9432
Temperatura do globo negro (°C)	0,0146	-0,4948	-1,2871
Coeficiente de determinação (R ²)	0,0681	0,0796	0,2366

TR= temperatura retal (°C); FR= frequência respiratória (mov.min⁻¹); NP= nível de produção (kg.vaca⁻¹.dia⁻¹); (P<0,001)

As variáveis ambientais apresentaram efeito linear positivo (P<0,01) com a TR e FR. A temperatura do ar não foi significativa na equação de predição da TR, por isso foi retirada. A equação de predição do nível de produção (NP) apresentou tendência linear negativa (P<0,01) com as variáveis do clima, o que pode mostrar o efeito negativo do estresse térmico sobre o desempenho produtivo dos animais. Quanto maior o estresse a que os animais estão submetidos, menores serão seus níveis de produção. Os baixos valores do coeficiente de determinação observados nas variáveis fisiológicas podem ser em função da baixa correlação observada entre as variáveis ambientais e as respostas

dos animais, indicando a provável adaptação dos rebanhos analisados às condições climáticas.

Segundo Almeida et al. (2010) a capacidade do animal de resistir às condições de estresse calórico tem sido avaliada fisiologicamente por alterações na temperatura retal e frequência respiratória. O uso de equações de predição pode ser uma forma de quantificar o estresse térmico aos quais os animais estão submetidos.

A eficiência das equações de predição, como índices de efeito ambiental, neste caso pode ser observada pelos coeficientes de correlação com as respostas fisiológicas e produtivas das vacas leiteiras da raça Holandesa (Tabela 7).

Tabela 7. Correlações entre as equações de predição da temperatura retal (TR estimado), frequência respiratória (FR estimado) e nível de produção (NP estimado) e as variáveis fisiológicas (temperatura retal e frequência respiratória) e nível de produção de leite.

Variáveis	TR estimado	FR estimado	NP estimado
Temperatura retal (°C)	0,1162	0,1539	0,0240
Frequência respiratória (mov.min ⁻¹)	0,1564	0,1502	-0,0165
Nível de produção (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	0,1444	0,1867	0,1893

A equação de predição da TR estimado apresentou correlação com as variáveis fisiológicas de 0,1162 com a TR e 0,1564 com a FR dos animais. As correlações dos valores estimados de FR apresentou a maior correlação com a TR ($r= 0,1539$) e a segunda maior correlação com a FR ($r= 0,1502$). Porém tanto TR estimado e FR estimado apresentaram valores positivos para nível de produção, $r= 0,1444$ e $r= 0,1867$, respectivamente. Esta informação pode mostrar a tendência de quanto maior a TR e FR, maiores os níveis de produção e este fato pode não condizer com a realidade apresentada em animais em situação de estresse térmico, em que os aumentos das condições estressantes promovem redução dos níveis de produção de leite.

A equação de predição do nível de produção apresentou as menores correlações com as variáveis fisiológicas, com valores de $r= 0,0240$ para TR e $r= -0,0165$ com a FR. Isto mostra a ineficiência da utilização do nível de produção estimado em ser utilizado com medida de avaliação do estresse térmico dos animais.

Embora as equações de predição tenham demonstrado significativa correlação com as variáveis analisadas, o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) apresentou maiores correlações com as variáveis, TR ($r= 0,2034$) e FR ($r= 0,1581$), demonstrando ser mais eficiente em caracterizar as alterações fisiológicas dos animais perante o ambiente das localidades analisadas. O ICT_{bl} apresentou correlação inversamente proporcional de $-0,2535$ com o nível de produção, indicando que o aumento do ICT_{bl} promove a queda da produção de leite dos animais. Assim, as equações de predição são interessantes para estimar suas respectivas medidas, porém como índice de conforto térmico o ICT_{bl} demonstrou melhor expressão do ambiente e estresse a que os animais foram submetidos.

Aplicação do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl})

Sampaio et al (2004), relatam que o ambiente térmico, tanto na áreas sombreadas e não sombreadas, é avaliado de acordo com índices de conforto térmico. Normalmente, esses índices consideram parâmetros do ambiente como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação, sendo que cada parâmetro tem um certo peso dentro do índice de acordo com sua importância relativa para o animal.

Embora o ICT_{bl} tenha mostrado ser um bom índice para conforto térmico de bovinos de leite, este índice pode ser melhor calculado para determinada região ou macrorregião, porque a relação entre as variáveis ambientais são provavelmente diferentes de uma região para outra. As diferentes respostas do animal às peculiaridades de cada região são determinantes no sucesso da atividade através da adequação do

sistema produtivo às características do ambiente e ao potencial produtivo dos ruminantes.

Sete índices de conforto térmico foram aplicados aos dados coletados nos períodos experimentais e correlacionados com as variáveis fisiológicas (TR e FR) e no NP dos animais analisados (Tabela 8). De acordo com Silva et al (2007), os valores das correlações foram considerados como indicações da eficiência de cada índice como indicadores das respostas dos animais com o ambiente.

Tabela 8. Coeficiente de correlação dos índices de conforto térmico para vacas da raça Holandesa.

Índices	Temperatura retal	Frequência respiratória	Nível de produção
ITU	0,1304	0,0899	-0,2410
ITGU	0,1766	0,1159	-0,2929
ITE	0,0831	0,0343	-0,2680
IEA	0,1193	0,0431	-0,2641
ICT	-0,0330	0,0241	-0,1809
IFR	0,1391	0,0226	-0,3094
ICT _{bl}	0,2034	0,1581	-0,2535

ITU = Índice de temperatura e umidade; ITGU = Índice de temperatura de globo e umidade; ITE = Índice de temperatura equivalente; IEA = Índice de estresse ambiental; ICT = Índice de carga térmica; IFR = Índice de frequência respiratória; e ICT_{bl} = Índice de conforto térmico para bovinos de leite.

De acordo com Silva et al. (2008) o índice de temperatura e umidade (ITU) tem sido amplamente utilizado para avaliar ambientes para bovinocultura de leite, mesmo em regiões tropicais, apesar de suas limitações, sob argumento que se relaciona com o desempenho da produção animal. Esse argumento pode ser válido para zonas temperadas, em que o índice foi desenvolvido. O ITU apresentou correlação de 0,1304 com a TR e 0,0899 com a FR, e -0,2410 com o NP, indicando o efeito inversamente proporcional o índice com o nível de produção.

O ITGU apresentou a segunda melhor correlação com as variáveis fisiológicas analisadas. A correlação do índice com a TR foi de 0,1766, de 0,1159 com a FR e -0,2929 com o NP. Assim ITGU é um índice mais preciso para avaliação do efeito do ambiente sobre os animais quando comparado ao ITU, por levar em consideração o efeito da radiação solar nos animais. O índice com menor correlação com as variáveis fisiológicas foi o ICT, desenvolvido por Gaughan et al. (2002) que o projetaram como guia para a gestão de bovinos de corte confinados na Austrália.

Silva et al. (2007) em estudo com vacas Holandesas e Jersey em rebanhos comerciais do Ceará e Rio Grande do Norte, verificaram que o ITE e o ICT apresentaram as melhores correlações com as variáveis fisiológicas, sendo considerados os melhores para a avaliação do ambiente tropical. Porém, para as condições climáticas nas localidades analisadas no sul brasileiro o ICT e ITE tiveram menores capacidades de avaliação do ambiente. Fato este provavelmente em virtude do clima mais ameno da região Sul em comparação com o clima da região de semiárido nordestino.

O índice de maior correlação com as variáveis fisiológicas foi o ICT_{bl} apresentando correlação de 0,2032 com a TR e 0,1581 com a FR, e -0,2535 com o NP, indicando efeito inversamente proporcional a produção.

O ICT_{bl} expressa numericamente o ambiente das localidades analisadas, apresentando assim relação conjunta da T_a , T_g , P_v e V_v , tornando uma medida mais confiável para avaliação do ambiente em relação ao uso isolado de qualquer destas variáveis. O efeito do ICT_{bl} em relação a TR dos animais é demonstrado na Figura 1.

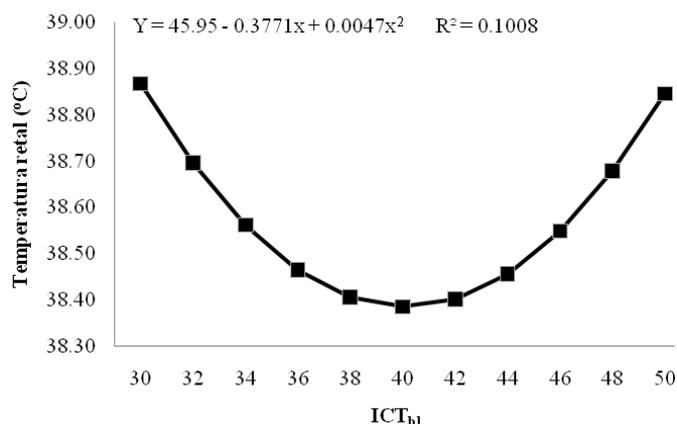


Figura 1. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da Temperatura retal (°C) de vacas da raça Holandesa.

O ICT_{bl} mostrou efeito quadrático ($P < 0,01$) com a TR dos animais. A partir de um ICT_{bl} de 40 quanto maior o estresse ambiental maior será o valor de temperatura retal das vacas.

O aumento dos valores do ICT_{bl} promove elevação da FR das vacas leiteiras (Figura 2). Segundo Pires et al. (2003) tendo excesso de estresse ambiental, os mecanismos não evaporativos tornam ineficazes e a taxa de sudorese e a frequência respiratória aumentam (evaporação cutânea e respiratória).

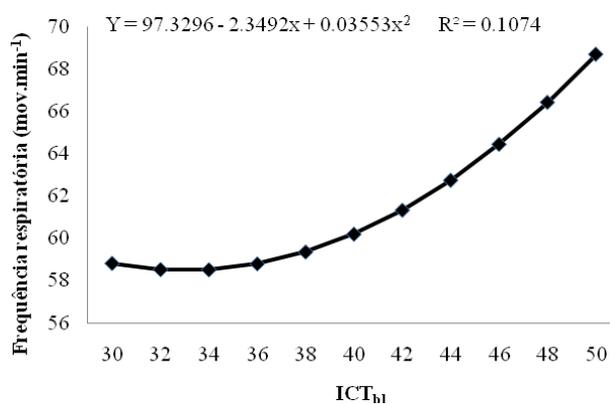


Figura 2. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da frequência respiratória (mov.min⁻¹) de vacas da raça Holandesa.

Para Rodrigues et al. (2010) mesmo em condições de baixa temperatura ambiente ($\leq 24^{\circ}\text{C}$), a sombra se faz necessária para mitigar os efeitos ambientais nas horas mais quentes do dia.

Em relação ao nível de produção de leite (Figura 3), valores de ICT_{bl} acima de 30 resultam em decréscimo na produção.

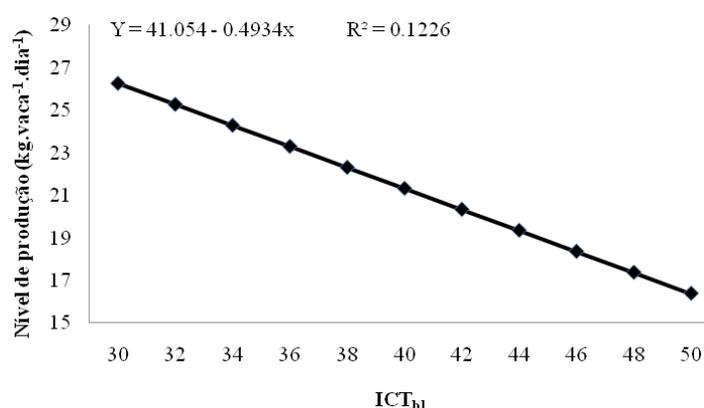


Figura 3. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função do NP (kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) de vacas da raça Holandesa.

Souza et al. (2010) relatam que vacas submetidas a estresse calórico no pico de lactação podem ter comprometimento na produção total de leite durante a lactação. Assim, o uso do ICT_{bl} para expressar o ambiente térmico é uma ferramenta eficiente para identificação dos entraves climatológicos à produção leiteira das vacas da raça Holandesa nas localidades avaliadas, sendo possível adotar estratégias para minimizar o estresse calórico em vacas leiteiras.

Conclusões

As variáveis ambientais analisadas nos períodos, não promoveram grandes alterações nas variáveis fisiológicas, provavelmente pela adaptação dos rebanhos estudados às condições climáticas.

O ICT_{bl} mostrou significativa correlação com a temperatura retal, frequência respiratória e nível de produção de leite, sendo considerado o melhor índice para avaliação do estresse térmico de vacas da raça Holandesa em lactação nas localidades.

Referências

- ALMEIDA, G.L.P.; PANDORF, H.; GUISELINI, C.; et al. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1337–1344, 2010.
- AZEVEDO, M.; PIRES, M.F.A.; STURNINO, H.M; et al. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras ½, ¾ e 7/8 holandês – zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2000–2008, 2005.
- BACCARI JR., F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em clima quente**. Londrina: UEL, 2001. 142p.
- BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 2010. 269p.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, n.24, p.711-714, 1981.
- EIGENBERG, R.A.; NIENABER, J.A.; BROWN-BRANDL, T.M. Development of a livestock safety monitor for cattle. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2003, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. [mimeo.].
- FERREIRA, F.; PIRES, F.A.; MARTINEZ, M.L.; et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.5, p.732-738, 2006.
- GAUGHAN, J.G.; GOOPY, J.; SPARK, J. **Excessive heat load index for feedlot cattle**. Sydney: MLA Ltda, 2002. (Meat and Livestock-Australia Project Report, 316). [mimeo.].
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2.ed. New York: Prentice Hall International, 1988. 607p.
- MARTELLO, L.S., SAVASTANO JR., H.; SILVA, S.L.; et al. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p181-191, 2004.
- MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIRO, Y.; et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, v.26, p.427-431, 2001.
- MOTA, F. S. **Climatologia zootécnica**. 1.ed. Pelotas: UFPel, 2001. 104p.
- PASSINI, R.; FERREIRA, F.A.; BORGATTI, L. M.O.; et al. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. **Revista Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.31, n.3, p.303-309, 2009.
- PEREIRA, J.C.; CUNHA, D.F.V.; CECON, P.R.; et al. Desempenho, TR e FR de novilhas leiteiras de três grupos genéticos recebendo dietas com diferentes níveis de fibra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.328-334, 2008.

- PERISSINOTO, M.; MOURA, D.J.; MATARAZZO, S.V; et al. Efeitos da utilização de sistemas de climatização nos parâmetros fisiológicos de gado leiteiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.663-671, 2006.
- PIRES, M.F.A; CAMPOS, A.T. Relação dos dados climáticos com o desempenho animal. In: RESENDE, H; Campos, A. T.; Pires, M.F. A (Orgs). **Dados climáticos e sua utilização na atividade leiteira**, 1.ed. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite. 2003, 250p.
- PORCIONATTO, M.A.F., FERNANDEZ, A.M., SARAN NETTO, A.; et al.. Influência do estresse calórico na qualidade e na produção de leite. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.4, p.483-490, 2009.
- RODRIGUES, A.L.; SOUZA, B.B.; PEREIRA FILHO, J.M. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.6, n.2, 2010 p.14–22.
- SAMPAIO, C.A.P.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J.A.; et al. Avaliação do ambiente térmico em instalações para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Revista Ciência Rural**, v.34, n.3, p.785-790, 2004.
- SCHUTZ, K. E.; ROGERS, A. R.; COX, N. R.; et al. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behavior, and body temperature. **Applied Animal Behaviour Science**, v.116, n.1, p.28-34, 2009.
- SILVA, I. J. O. ; PANDORFI H.; ACARARO JR. I.; et al. Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2036-2042, 2002.
- SILVA, R.G.; MORAIS, D.A.E.F.; GUILHERMINO, M.M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.1192-1198, 2007.
- SILVA, R.G. **Biofísica ambiental**. Os animais e seu ambiente. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2008, 393p.
- SOUZA, R.; SANTOS, G.T.; VALLOTO, A.A.; et al. Produção e qualidade do leite de vacas da raça Holandesa em função da estação do ano e ordem de parto. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, n.2, p.484-495, 2010.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**. Versão 9.1. Viçosa, 2007.

Avaliação de índices de conforto térmico para vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção

RESUMO. Objetivando determinar o índice de conforto térmico mais preciso em expressar o estresse térmico para vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite foram utilizadas 150 vacas leiteiras da raça Holandesa semiconfinadas, em três localidades (Cascavel – PR, Chapecó – SC e Erechim – RS). As variáveis ambientais consideradas foram: temperatura do ar, pressão parcial de vapor, velocidade do vento e temperatura do globo negro. As respostas registradas dos animais ao ambiente foram: temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e nível de produção de leite diário (NP). A interação destas respostas dos animais ao ambiente foram descritas por meio da análise de trilha e regressão. Em animais de alta produção de leite a temperatura do ar e a temperatura do globo negro mostraram maior efeito sobre a FR e TR, respectivamente, e a elevação da pressão parcial de vapor causou redução da produção leiteira. Para animais de baixa produção o ICT_{bl} correlacionou-se com a TR ($r= 0,1563$) e FR ($r= 0,1246$); em animais de alta produção se obteve correlação de 0,2942 com TR e 0,3646 com FR, demonstrando ser o índice mais eficiente em caracterizar as alterações fisiológicas dos animais perante o ambiente das localidades analisadas.

Palavras-chaves: avaliação do ambiente, fatores climáticos, gado leiteiro

Evaluation of thermal comfort index for Holstein cows with different levels of milk production

ABSTRACT. Aiming to develop a thermal comfort index for dairy cattle (TCIdc) there were used 150 Holstein dairy cows semi-confined in three locations (Cascavel - PR, Chapecó - SC and Erechim - RS). The environmental variables considered were: air temperature, air humidity, wind speed and temperature of black globe. The recorded responses of animals to the environment were: rectal temperature (RT), respiratory rate (RR) and level of daily milk production (MP). The interaction of these animals' responses to the environment was described by means of path analysis and regression. In animals of high milk production the air temperature and black globe, temperature has more effect on the RR and RT, respectively, and high partial pressure of steam causes a reduction of milk production. For animals of the low production TCIdc correlated with RT ($r = 0.1563$) and RR ($r = 0.1246$) in animals of high production obtained with RT correlation of 0.2942 and 0.3646 for RR, proving to be the most efficient index to

characterize the physiological changes of the animals to the environment of the locations analyzed.

Key words: assessment of the environment, climatic factors, dairy cow

Introdução

No Brasil, a temperatura média do ar está geralmente situada acima dos 20°C, sendo que, nas horas mais quentes do dia, as temperaturas observadas permanecem acima dos 30°C em grande parte do ano, atingindo a faixa de 35°C a 38°C (Porcionato et al., 2009).

Observa-se nos trópicos um problema na adaptação de raças leiteiras de origem européia ao clima, que por sua alta produtividade sofrem com problemas fisiológicos e comportamentais causados pelo estresse térmico diminuindo sua produção. O estresse térmico gera uma diminuição na produção leiteira devido à redução na ingestão de alimentos. Além da temperatura ambiente, a umidade relativa do ar elevada compromete a capacidade da vaca de dissipar calor para o ambiente influenciando diretamente na diminuição da produção (Silva et al., 2002).

O bem-estar dos animais e seu desempenho produtivo são alterados de acordo com as condições ambientais. Altas temperaturas do ar, sobretudo quando associadas a altas umidades e intensa radiação solar são responsáveis pela diminuição na produção de leite principalmente de vacas alta produção (Aguilar et al., 2003).

Existem diversos indicativos para caracterização do conforto e do bem-estar animal. Entre eles, está a observação criteriosa das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais ao estresse térmico. Os índices de conforto térmico, determinados por meio de elementos meteorológicos, servem para avaliar o ambiente e

procuram caracterizar, em uma única variável, o estresse a que os animais estão submetidos (Perissinotto et al., 2007).

O objetivo do presente trabalho foi determinar o índice de conforto térmico mais preciso em expressar o estresse térmico para vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite nas localidades analisadas.

Material e Métodos

Foram utilizadas no total 150 vacas leiteiras da raça holandesa em início de lactação de rebanhos localizadas nas cidades de Cascavel – Paraná (Latitude: 24°57' sul, Longitude: 53°27' oeste e Altitude: 786,00 metros), Chapecó – Santa Catarina (Latitude: 27°07' sul, Longitude: 52°37' oeste e Altitude: 679,01 metros) e Erechim – Rio Grande do Sul (Latitude: 27°38' sul, Longitude: 52°16' oeste e Altitude: 793,00 metros).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, sendo avaliado nos estados do Paraná e Santa Catarina um rebanho de 50 animais durante dois períodos experimentais de 30 dias na estação do verão, e no estado do Rio Grande do Sul apenas um período de coleta com 49 dias, sendo registradas 8450 observações nas diferentes localidades. Os dados foram analisados de acordo com o nível de produção de leite ($\text{kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) sendo 4408 observações de animais de baixa produção de leite ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e 4042 observações de animais de alta produção de leite ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$). O estado sanitário dos animais foi de acordo com os padrões de uma criação comercial, sendo o manejo de controle das doenças e parasitas efetuado rotineiramente.

Os animais foram manejados em sistema de semiconfinamento, sendo observados expostos ao sol de manhã (8h30) e a tarde (13h), medindo a temperatura retal (TR, °C) e a frequência respiratória (FR, mov.min^{-1}). O nível de produção de leite (NP, $\text{kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) das vacas foi mensurado nas duas ordenhas diárias utilizando medidores de leite.

As variáveis ambientais medidas foram: temperatura do ar (T_a , °C), pressão parcial de vapor (P_v , kPa) e a velocidade do vento (V_v , $m.s^{-1}$) por meio de um termoanemômetro (Kestrel 3000[®]), e a radiação com o uso de um globo de Vernon de 0,15 m de diâmetro, colocado a 1,6 m acima do solo simulando a altura do dorso dos animais. A medida da temperatura do globo negro (T_g , °C) foi usada para estimar a carga térmica radiante (CTR), conforme Baeta & Souza (2010).

A carga térmica radiante é dada por:

$$CTR = \sigma Trm^4 \quad , \text{ W.m}^{-2}$$

sendo: σ = constante de Stefan-Boltzmann, $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{°K}$

Trm = temperatura radiante média (°K)

sendo:

$$Trm = 100 [2,51 V_v^{0,5} (T_g - T_a) + ((T_g + 273,15)/100)^4]^{0,25},$$

sendo: T_g = temperatura do globo negro, °C; T_a = temperatura do ar, °C;

Os dados foram submetidos à análise de trilha através do estudo do desdobramento do coeficiente de correlação entre as variáveis dependentes (TR, FR e NP) e as variáveis independentes (T_a , P_v , V_v e T_g) em efeitos diretos e indiretos.

Foram geradas equações de predição, por meio de regressões múltiplas, para predição das variáveis fisiológicas (TR e FR) e de produção (NP) das vacas em lactação de diferentes níveis de produção de leite em função dos fatores ambientais (T_a , P_v , V_v e T_g). Os modelos para as regressões múltiplas foram:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + e_i$$

em que: Y_i = TR (°C); FR (mov.min^{-1}); e NP ($\text{kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$); X_1 = T_a (°C); X_2 = P_v (kPa); X_3 = $V_v(m.s^{-1})$; X_4 = T_g (°C); e_i = erro

As equações de predição e o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) foram correlacionadas com a TR, FR e NP dos animais, para determinar a

capacidade na explicação das respostas dos animais ao clima. O ICT_{bl} foi comparado com alguns dos índices de conforto térmico mais utilizados, seguindo a metodologia proposta por Silva, et al. (2007), em que o melhor índice de conforto térmico é aquele que apresenta os maiores valores de correlação com as variáveis fisiológicas dos animais.

Sete índices foram considerados:

- a) Índice de Temperatura e Umidade (Thom, 1959):

$$ITU = Ta + 0,36Tpo + 41,5$$

Em que: t_{po} é a temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}C$).

- b) Índice de Globo Negro e Umidade (Buffington et al., 1981):

$$ITGU = Tg + 0,36Tpo + 41,5$$

- c) Índice de Temperatura Equivalente (Baeta & Souza, 2010):

$$ITE = 27,88 - 0,456Ta + 0,01075Ta^2 - 0,4905Ur + 0,00088Ur^2 + 1,1507Vv - 0,12644Vv^2 + 0,019876TaUr - 0,046313TaVv$$

sendo: Ur a umidade relativa do ar (%)

- d) Índice de estresse ambiental (Moran et al., 2001):

$$IEA = 0,63Ta - 0,03Ur + 0,02S + 0,0054TaUr - 0,073(0,1 + S)^{-1}$$

sendo: S a irradiação solar ($W.m^{-2}$)

- e) Índice de Carga Térmica (Gaughan et al., 2002):

$$ICT = 33,2 + 0,2Ur + 1,2Tg^* - (0,82Vv)^{0,1} - \log(0,4Vv^2 + 0,0001)$$

$$Tg^* = 1,33 - 2,65Ta^{1/2} + 3,21 \log(S+1) + 3,5$$

sendo: Tg^* a temperatura do globo prevista ($^{\circ}C$).

- f) Índice de FR (Eigenberg et al., 2003):

$$IFR = 5,4Ta + 0,58Ur - 0,63Vv + 0,024S - 110,9$$

- g) Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite (ICT_{bl})

$$ICT_{bl} = 0,6354Ta + 0,6312Tg + 0,4438Pv + 0,0310Vv$$

Os índices acima foram calculados para cada combinação das variáveis ambientais correspondentes às medições realizadas nos animais, a fim de assegurar que cada resposta animal estava associada a uma determinada condição do ambiente.

Para a análise das variáveis estudadas utilizou o sistema de análise estatística e genética SAEG-UFV, versão 9.1 (2007) e as inferências obtidas foram avaliadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Resultados e Discussão

Na Tabela 9, observa-se que a FR dos animais de alta produção ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) foi maior ($P < 0,05$) com valor de $64,76 \text{ mov.min}^{-1}$ que em animais de baixa produção ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) com FR de $57,88 \text{ mov.min}^{-1}$. A TR foi mais elevada em animais de alta produção ($38,72^\circ\text{C}$) que em animais de baixa produção ($38,34^\circ\text{C}$). Perissinotto et al. (2006) observaram FR com valores de 61 mov.min^{-1} , porém, não alterando a TR dos animais, que em condições termoneutras está entre 38 e $39,5^\circ\text{C}$.

Apesar das menores T_a ($26,89^\circ\text{C}$) e T_g ($35,41^\circ\text{C}$) as maiores respostas fisiológicas (FR e TR) observadas em animais de alta produção de leite podem ser por causa do metabolismo mais acelerado em virtude dos maiores NP ($25,74 \text{ kg.vaca}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) e/ou maior susceptibilidade aos fatores climáticos. O estresse térmico é o maior fator de decréscimo da performance reprodutiva em vacas leiteiras de alta produção e a eficiência animal está diretamente relacionada ao seu mérito genético, sendo extremamente sensível aos fatores ambientais aos quais está exposta (Grecellé et al., 2006). Para Pegorer (2007) os fatores climáticos interferem na produtividade das vacas e essa influência é mais perceptível em animais de maior produção leiteira.

Tabela 9. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis fisiológicas, ambientais e nível de produção de leite de vacas da raça Holandesa de alta (>20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) e baixa (<20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) produção de leite.

Variáveis	Produção de Leite		CV %
	<20 kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹	>20 kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹	
Frequência respiratória (mov.min ⁻¹)			
Média	57,88 ^a	64,76 ^b	14,32
Variação	34 a 90	32 a 104	-
Temperatura retal (°C)			
Média	38,34 ^a	38,72 ^b	0,77
Variação	37,50 a 39,70	38,10 a 40,0	-
Temperatura do ar (°C)			
Média	27,15 ^b	26,89 ^a	4,66
Variação	22,40 a 30,20	22,40 a 29,50	-
Pressão parcial de vapor (kPa)			
Média	2,52 ^b	2,45 ^a	13,03
Variação	1,70 a 3,30	1,70 a 3,19	-
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)			
Média	1,07 ^a	1,48 ^b	45,45
Variação	0 a 2,90	0 a 2,10	-
Temperatura do globo negro (°C)			
Média	36,11 ^b	35,41 ^a	6,28
Variação	28,30 a 42,50	28,31 a 41,00	-
Nível de produção de leite (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Média	17,40 ^a	25,74 ^b	11,34
Variação	12 a 20	21 a 33	-

Médias seguidas de letras na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Silva (2008) embora a temperatura do ar seja frequentemente considerada como uma variável climática isolada de maior importância sobre a produção animal, seus efeitos estão intimamente ligados e dependentes do nível de umidade atmosférica. As menores FR e TR observadas em animais de baixa produção,

apesar dos valores maiores ($P < 0,05$) de T_a ($27,15^\circ\text{C}$) e P_v ($2,52\text{kPa}$) que em animais de alta produção com T_a ($26,89^\circ\text{C}$) e P_v ($2,45\text{kPa}$), pode ser em decorrência da melhor capacidade adaptativa destes animais ao clima das localidades analisadas.

De acordo com Mota (2001), a faixa de temperatura de globo negro para vacas em lactação de 7 a 26°C é considerada ótima, entre 27 e 34°C regular, e acima de 35°C crítica. Os valores médios de T_g para os animais de baixa produção foi de $36,11^\circ\text{C}$ e $35,41^\circ\text{C}$ para os animais de alta produção, sendo superiores aos citados na literatura, porém não foi evidenciado estresse térmico nas medidas fisiológicas (FR e TR) das vacas, o que pode indicar adaptabilidade dos animais da raça Holandesa às condições climáticas.

Os parâmetros fisiológicos dos animais de alta e baixa produção de leite analisados não apresentaram valores considerados em literatura como de estresse térmico. Assim apesar da variação existente, os animais mostraram estar dentro da zona de conforto térmico, podendo indicar adaptação às condições climáticas.

Interação entre ambiente e animais

Na Tabelas 10, está demonstrado o desdobramento das correlações em componentes de efeitos diretos e indiretos, envolvendo as variáveis dependentes (FR, TR e NP) e as variáveis independentes explicativas ambientais (T_a , P_v , V_v e T_g) para vacas da raça Holandesa de alta ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e baixa ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) produção de leite. Desta forma é possível avaliar conjuntamente o efeito das variáveis ambientais sobre as respostas fisiológicas dos animais.

Tabela 10. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis fisiológicas para vacas da raça Holandesa de alta (>20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) e baixa (<20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) produção de leite.

Variável	Via	Produção de leite					
		<20 kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹			>20 kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹		
		FR	TR	NP	FR	TR	NP
ED Ta		0,0406	-0,1565	-0,0283	0,4937	-0,4907	0,4409
EI Ta	Via Pv	-0,0770	-0,0424	-0,0234	0,0094	0,0080	-0,0351
EI Ta	Via Vv	0,0001ns	0,0002ns	0,0001ns	0,0285	0,0289	0,0530
EI Ta	Via Tg	0,0615	0,3344	-0,2631	-0,159	0,7354	-0,8461
Total		0,0257	0,1358	-0,3148	0,3726	0,2816	-0,3873
ED Pv		-0,2054	-0,1136	-0,0628	0,0178	0,0150	-0,6615
EI Pv	Via Ta	0,0152	-0,0584	-0,0106	0,2619	-0,2603	0,2339
EI Pv	Via Vv	-0,0012	-0,0042	-0,0076	-0,0063	-0,0064	-0,0118
EI Pv	Via Tg	0,0199	0,1081	-0,0851	-0,0897	0,4149	-0,4773
Total		-0,1715	-0,6802	-0,1592	0,1837	0,1631	-0,3214
ED Vv		0,0316	0,1088	0,0199	0,1326	0,1344	0,2466
EI Vv	Via Ta	0,0001ns	-0,0003ns	-0,0001ns	0,1060	-0,1054	0,0968
EI Vv	Via Pv	0,0079	0,0043	0,0024	-0,0009	-0,0007	0,0032
EI Vv	Via Tg	-0,0019	-0,0105	0,0082	-0,0309	0,1430	-0,1648
Total		0,0377	0,1023	0,0305	0,2068	0,1713	0,1800
ED Tg		0,0658	0,3613	-0,2842	-0,1631	0,7540	-0,8675
EI Tg	Via Ta	0,0376	-0,1448	-0,0261	0,4815	-0,4785	0,4299
EI Tg	Via Pv	-0,0615	-0,0340	-0,0188	0,0098	0,0083	-0,0369
EI Tg	Via Vv	-0,0001	-0,0031	-0,0005	0,0251	0,0255	0,0468
Total		0,0418	0,1793	-0,3298	0,3534	0,3092	-0,4271
R ²		0,0402	0,0624	0,1133	0,1570	0,1205	0,2654

ED = efeito direto; EI = efeito indireto; Total = total de efeitos diretos e indiretos; R² = coeficiente de determinação; Ta = temperatura do ar; Pv = pressão parcial de vapor; Vv = velocidade do vento; Tg = temperatura do globo negro; FR = frequência respiratória; TR = temperatura retal; NP = nível de produção de leite; ns = não significativo

A FR dos animais de alta produção de leite ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) mostrou estar correlacionada diretamente com a Ta ($r = 0,4937$) e com a Vv ($0,1326$), enquanto a correlação com Pv e Tg, ocorreu indiretamente via Ta ($r_{Pv} = 0,2619$ e $r_{Tg} = 0,4815$), respectivamente, assim estes valores demonstram maior efeito da Ta sobre a FR de animais de alta produção e podem indicar que vacas de maior produtividade acionam de maneira mais acentuada a liberação de calor pela respiração para a manutenção da termorregulação. A FR dos animais de baixa produção de leite ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) apresentou baixa correlação com as variáveis ambientais.

A TR dos animais de alta produção de leite ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) mostrou estar correlacionada diretamente com a Vv ($0,1344$) e Tg ($0,7540$), enquanto a correlação com a Ta e Pv, ocorreu indiretamente via Tg ($r_{Ta} = 0,7354$ e $r_{Pv} = 0,4149$), respectivamente. De forma semelhante a TR dos animais de baixa produção de leite ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) mostrou estar correlacionada diretamente com a Vv ($0,1088$) e Tg ($0,3613$), enquanto a correlação com a Ta e Pv, ocorreu indiretamente via Tg ($r_{Ta} = 0,3344$ e $r_{Pv} = 0,1081$), respectivamente. Observa-se o maior efeito da Tg sobre a TR de animais principalmente em vacas de alta produção, destacando assim a importância do sombreamento para manutenção do conforto térmico nestes animais.

Ferreira et al. (2006) relatam que quando expostas a ambiente quente, as vacas aumentam a frequência respiratória e temperatura retal. Sob estresse térmico, para manutenção da temperatura corporal há aumento da temperatura de superfície corporal e frequência respiratória, que começam a seelevar antes da temperatura retal. Segundo Tapki & Sahin (2006), vacas da raça Holandesa produzindo acima de 25 kg.dia^{-1} mostraram maior queda na produção durante o verão do que os animais com produção abaixo de 20 kg.dia^{-1} ($16,1\%$ e $11,6\%$), respectivamente, mostrando claramente a maior sensibilidade ao calor em animais de alta produção.

Em animais de alta produção de leite a Pv mostrou maior efeito indireto sobre a FR via Ta com valor de 0,2619, correlação indireta que não foi verificada em animais de baixa produção de leite. Este efeito indica que a associação entre temperatura e umidade afeta de maneira mais acentuada animais de alta produção de leite.

A elevação da Pv promove significativa redução na produção de leite dos animais principalmente em vacas de alta produção, indicando que estes animais são mais sensíveis ao estresse ambiental que animais de baixa produção.

Segundo Pires (2006), o estresse térmico é o conjunto das alterações que ocorrem no organismo animal na tentativa de reagir às condições ambientais como: altas temperaturas, alta umidade do ar e excesso de radiação solar. Tais condições somadas a altas produções de calor metabólico excedem as reservas de calor corporal, e quando a capacidade de eliminação de calor é menor que o ganho de calor do ambiente e do metabolismo, determinando o estresse térmico. No verão a capacidade de perda de calor fica comprometida em função das condições climáticas, aliada a isso, a alta produção de calor das vacas de alta produção de leite as torna mais susceptíveis ao estresse térmico.

O vento tem importante ação na perda de calor por convecção, desde que a temperatura do ar esteja menor que a temperatura do animal. Quando a umidade é alta o vento retira a umidade da pele do animal, facilitando a perda de calor por evaporação (Ferreira, 2006). O aumento da velocidade do vento promoveu elevação na FR e TR dos animais.

Embora a velocidade do vento não tenha reduzido os valores fisiológicos, observa-se que seu aumento promove uma elevação linear no NP dos animais de alta e baixa produção de leite. Este aumento da produção de leite, mais acentuado em animais de alta produção, pode pelo efeito direto do vento em aumentar as perdas de calor pela

superfície corporal por meio da evaporação da umidade da pele dos animais, promovendo melhor conforto térmico e bem-estar animal. Barbosa et al. (2004) relatam que o aumento da velocidade do vento associado a utilização de água sobre a superfície corporal dos animais, com o uso de aspersores sob pressão, promovem aumentos de 8,6% na produção de leite.

O aumento da Tg promove elevação na FR e TR dos animais, sendo este aumento mais acentuado em animais de alta produção. Em vacas de baixa produção o NP correlacionou-se diretamente com Tg ($r = -0,2842$) e em animais de alta produção ($r = -0,8675$). O aumento da Tg promove redução do NP, com efeito mais evidente em animais de alta produção de leite. Esta informação tem grande relevância, porque animais semiconfinados são expostos a radiação solar direta durante grande parte do dia, promovendo alterações nas variáveis fisiológicas e produtivas dos animais.

De acordo com Almeida (2010) em regiões de clima quente, a principal preocupação é a de proteger os animais da radiação solar direta, isto é, proporcionar a menor carga térmica radiante possível e melhor conforto térmico. Schutz et al. (2009) relatam que o fornecimento de locais sombreados que oferecem maior proteção contra a radiação solar, amenizam o estresse calórico e promove aumento na produção leiteira.

Os coeficientes de determinação do desdobramento das correlações das variáveis fisiológicas em relação às variáveis ambientais para animais de alta produção de leite foram de 0,1570 para FR, 0,1205 para TR e 0,2654 para NP. Em animais de baixa produção os coeficientes observados foram menores com valor de 0,0402 para FR e 0,0624 para TR e 0,1133 para NP. Isto pode indicar que as variáveis ambientais analisadas nos períodos, não foram capazes de promover grande alteração nas variáveis fisiológicas dos animais de baixa produção de leite, provavelmente pela adaptação as condições climáticas e que animais de alta produção são mais susceptíveis aos efeitos

do clima, com isso necessitando de ambiente mais adequado para manutenção da produção leiteira.

Observa-se na Tabela 11, que o aumento da temperatura do ar e pressão parcial de vapor promove redução na produção de vacas da raça Holandesa. De acordo com Porcionatto (2009) a diminuição na produção de leite das vacas em estresse térmico por calor se deve, principalmente pela redução na ingestão de alimentos, à hipofunção da tireoide e pela energia despendida para eliminar o excesso de calor corporal. A redução no consumo de alimentos é maior quanto mais intenso o estresse térmico, e seria principalmente à inibição pelo calor, do centro do apetite localizado no hipotálamo, resultante da hipertermia corporal, que pode resultar em um decréscimo de 17% na produção de leite de vacas de 15 kg.dia⁻¹ e de 22% em vacas de 40 kg.dia⁻¹.

A equação de regressão da temperatura do globo negro sobre o nível de produção dos animais mostra um efeito quadrático ($P < 0,05$) para vacas de alta e baixa produção leiteira, em que um aumento da temperatura do globo negro promove redução na produção de leite dos animais.

Tabela 11. Equações de regressão da frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e nível de produção de leite (NP) de vacas da raça Holandesa de alta (>20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) e baixa (<20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) produção de leite em função das variáveis ambientais (Ta, Pv, Vv e Tg).

Respostas	Variáveis ambientais		R ²
	Temperatura do ar (°C)		
FR (mov.min ⁻¹)	y<20 = 52,3621 + 0,2032x		0,0566
	y>20 = 0,6586 + 2,3841x		0,1082
TR (°C)	y<20 = 48,5896 - 0,8025x + 0,0156x ²		0,0646
	y>20 = 41,7888 - 0,2749x + 0,0060x ²		0,1103
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	y<20 = -50,2548 + 5,5193x - 0,1113x ²		0,1142
	y>20 = -177,903 + 16,2043x - 0,3200x ²		0,2667
Pressão parcial de vapor (kPa)			
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	y<20 = 22,622 - 3,3533x + 0,5012x ²		0,0973
	y>20 = 26,1097 + 2,8876x - 1,2216x ²		0,1353
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)			
FR (mov.min ⁻¹)	y<20 = 57,2171 + 0,6220x		0,0414
	y>20 = 57,1374 + 7,9797x - 1,6014x ²		0,1053
TR (°C)	y<20 = 38,2676 + 0,0705x		0,0609
	y>20 = 38,4683 - 0,1027x + 0,0697x ²		0,1108
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	y<20 = 17,293 + 0,1045x		0,0622
	y>20 = 24,1812 + 1,1118x		0,1124
Temperatura do globo negro (°C)			
FR (mov.min ⁻¹)	y<20 = 129,175 - 4,111x + 0,059x ²		0,0639
	y>20 = 18,3833 + 1,3098x		0,1248
TR (°C)	y<20 = 42,5181 - 0,2608x + 0,004x ²		0,0933
	y>20 = 39,0337 - 0,0425x + 0,001x ²		0,1239
NP (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	y<20 = -14,5228 + 2,0519x - 0,0323x ²		0,1249
	y>20 = -85,2114 + 6,8594x - 0,1047x ²		0,2825

Desenvolvimento das equações de predição

Os relacionamentos entre as variáveis fisiológicas e nível de produção das vacas em lactação e os fatores ambientais supostamente envolvidos na sua regulação são complexos. A presença de colinearidade múltipla entre as variáveis independentes e a dependente auxilia o entendimento acerca de suas contribuições individuais na explicação do fenômeno. As respostas para TR, FR e NP para vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite foram descritas por meio de regressão múltipla em função das variáveis ambientais (Ta, Pv, Vv e Tg) (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativa dos coeficientes da equação de regressão múltipla para predição das respostas fisiológicas e do nível de produção de vacas da raça Holandesa em função das variáveis ambientais.

Variável	Produção de leite		
	<20 kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹		
	TR	FR	NP
Intercepto	37,2214	57,4317	23,5203
Temperatura do ar	-	-	-
Pressão parcial de vapor	-0,1635	-0,0494	-0,2287
Velocidade do vento	0,0967	-	0,1413
Temperatura do globo negro	0,0395	0,3513	-0,1928
Coefficiente de determinação	0,0741	0,0377	0,1558
	>20 kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹		
Intercepto	38,5044	13,8843	29,9362
Temperatura do ar	-0,0190	1,7110	1,0873
Pressão parcial de vapor	-0,0221	-	-0,9563
Velocidade do vento	0,0125	2,5564	1,9174
Temperatura do globo negro	0,0172	-	-0,9510
Coefficiente de determinação	0,1087	0,1190	0,2245

As variáveis ambientais apresentaram efeito linear positivo ($P < 0,05$) com a TR e FR enquanto apresentaram efeito linear negativo ($P < 0,05$) para NP. Em animais de baixa produção de leite a Ta não foi significativa em todas as equações de predição e a Vv não foi significativa para predição da FR, sendo assim retiradas. Em animais de alta produção as variáveis ambientais Pv e Tg não foram significativas, sendo retiradas da equação de predição da FR.

A capacidade do animal de resistir às condições de estresse calórico é avaliada fisiologicamente por alterações na temperatura retal e frequência respiratória (Almeida, 2010). O uso de equações de predição pode ser uma forma de quantificar o estresse térmico aos quais os animais estão submetidos.

A eficiência das equações de predição e do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}), como índices de efeito ambiental, neste caso pode ser observada pelos coeficientes de correlação com as respostas das vacas leiteiras da raça Holandesa (Tabela 13).

A equação de predição da temperatura retal (TR1) para vacas de baixa produção apresentou correlação de 0,1482 com a TR e 0,1787 com a FR dos animais e a equação para predição da frequência respiratória (FR1) teve correlação de 0,0849 com a TR e 0,2165 com a FR. Porém tanto TR1 e TR2 apresentaram baixas correlações com o nível de produção, $r = -0,0298$ e $r = -0,0288ns$, respectivamente. Em vacas de alta produção a equação de predição da temperatura retal (TR2) apresentou correlação de 0,1467 com a TR e 0,1931 com a FR dos animais e a equação para predição da frequência respiratória (FR2) teve correlação de 0,1632 com a TR e 0,3651 com a FR.

A equação de predição para o nível de produção de leite (NP1) para animais de baixa produção apresentou baixas correlações com as variáveis fisiológicas, sendo -0,1174 para TR e -0,0285 para FR. Em animais de alta produção a equação de predição

do nível de produção (NP2) mostrou correlação com TR ($r = -0,0409$), FR ($r = -0,0701$) e NP ($r = 0,5017$).

Tabela 13. Correlação entre as equações de predição para animais com produção de leite $<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (TR1, FR1 e NP1), $>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (TR2, FR2 e NP2) e o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) com a temperatura retal, frequência respiratória e nível de produção de leite.

Equações	Produção de leite		
	$<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$		
	Temperatura retal (°C)	Frequência respiratória (mov.min ⁻¹)	Nível de produção (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)
TR1	0,1482	0,1787	-0,0298
FR1	0,0849	0,2165	-0,0288ns
NP1	-0,1174	-0,0285ns	0,1099
ICT_{bl}	0,1563	0,1246	-0,3323
	$>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$		
TR2	0,1467	0,1931	0,0489
FR2	0,1632	0,3651	-0,3885
NP2	-0,0409	-0,0701	0,5017
ICT_{bl}	0,2942	0,3646	-0,4117

Embora as equações de predição tenham demonstrado significativa correlação com as variáveis analisadas, o ICT_{bl} apresentou maiores correlações com estas variáveis. Em animais de baixa produção o ICT_{bl} correlacionou-se com a TR ($r= 0,1563$) e FR ($r= 0,1246$); em animais de alta produção obteve correlação de 0,2942 com TR e 0,3646 com FR, demonstrando ser o índice mais eficiente em caracterizar as alterações fisiológicas dos animais perante o ambiente das localidades analisadas.

O ICT_{bl} apresentou correlação inversamente proporcional com o nível de produção ($r = -0,3323$) de animais de baixa produção e de ($r = -0,4117$) com animais de alta produção, indicando que o aumento do ICT_{bl} promove a queda da produção de leite

dos animais. Assim, as equações de predição são interessantes para estimar suas respectivas medidas, porém como índice de conforto térmico o ICT_{bl} demonstrou melhor expressão do ambiente e estresse a que os animais foram submetidos.

Aplicação do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl})

Apesar de o ICT_{bl} ter mostrado ser um bom índice para conforto térmico de bovinos de leite, este índice pode ser melhor calculado para determinada região ou macrorregião, porque a relação entre as variáveis ambientais são provavelmente diferentes de uma região para outra. As diferentes respostas do animal às peculiaridades de cada região são determinantes no sucesso da atividade através da adequação do sistema produtivo às características do ambiente e ao potencial produtivo dos ruminantes.

Sete índices de conforto térmico foram aplicados aos dados coletados nos períodos experimentais e correlacionados com as variáveis fisiológicas (TR e FR) e no NP dos animais analisados (Tabela 14). Segundo Silva, et al. (2007) os valores das correlações foram considerados como indicações da eficiência de cada índice como indicadores das respostas dos animais com o ambiente.

O índice de temperatura e umidade (ITU) tem sido amplamente utilizado para avaliar ambientes para bovinocultura de leite, mesmo em regiões tropicais, apesar de suas limitações, sob argumento que se relaciona com o desempenho da produção animal. Esse argumento pode ser válido para zonas temperadas, em que o índice foi desenvolvido (Silva et al., 2008).

O ITU para animais de baixa produção de leite mostrou correlação 0,0934 com TR, 0,0879 com FR e -0,2758 com o NP. Em animais de alta produção mostrou correlação de 0,2444 com TR, 0,3321 com FR e -0,4006 com NP indicando efeito inversamente proporcional com o nível de produção.

Tabela 14. Coeficiente de correlação dos índices de conforto térmico para a raça Holandesa de alta ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e baixa ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) produção de leite.

Índices	Produção de leite		
	$<20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$		
	Temperatura retal	Frequência respiratória	Nível de produção
ITU	0,0934	0,0879	-0,2758
ITGU	0,1356	0,0986	-0,3293
ITE	0,0820	0,0340	-0,2438
IEA	0,0671	0,0445	-0,2375
ICT	0,0309	-0,0953	-0,2785
IFR	0,1115	0,0949	-0,2372
ICT _{bl}	0,1563	0,1246	-0,3323
	$>20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$		
ITU	0,2444	0,3321	-0,4006
ITGU	0,2504	0,3434	-0,4408
ITE	0,2139	0,2912	-0,4029
IEA	0,2362	0,2907	-0,4073
ICT	0,2068	0,2325	-0,4612
IFR	0,2515	0,2654	-0,4332
ICT _{bl}	0,2942	0,3646	-0,4117

ITU = Índice de temperatura e umidade; ITGU = Índice de temperatura de globo e umidade; ITE = Índice de temperatura equivalente; IEA = Índice de estresse ambiental; ICT = Índice de carga térmica; IFR = Índice de frequência respiratória; e ICT_{bl} = Índice de conforto térmico para bovinos de leite.

O ITGU em vacas com baixa produção de leite apresentou correlação de 0,1356 com TR, 0,0986 com FR e correlação negativa de -0,3293 com o NP. Em animais de alta produção se correlacionou 0,2504 com TR, 0,3434 com FR e -0,4408 com NP. Assim o ITGU é um índice mais adequado que o ITU para a avaliação do estresse térmico possivelmente por levar em consideração a radiação solar.

O índice de maior correlação com as variáveis fisiológicas foi ICT_{bl}, apresentando em animais de baixa produção de leite correlação de 0,1563 com TR, 0,1246 com FR e

-0,3323 com NP, indicando efeito inversamente proporcional a produção. Em animais de alta produção obteve correlação de 0,2942 com TR, 0,3646 com FR e -0,4117 com NP.

O ICT_{bl} expressa numericamente o ambiente das localidades analisadas, apresentando assim relação conjunta da T_a , T_g , P_v e V_v , tornado uma medida mais confiável para avaliação do ambiente em relação ao uso isolado de qualquer destas variáveis em animais de alta e baixa produção de leite. O efeito do ICT_{bl} em relação à temperatura retal dos animais de baixa ($TR < 20$) e de alta ($TR > 20$) produção de leite está demonstrado na Figura 4.

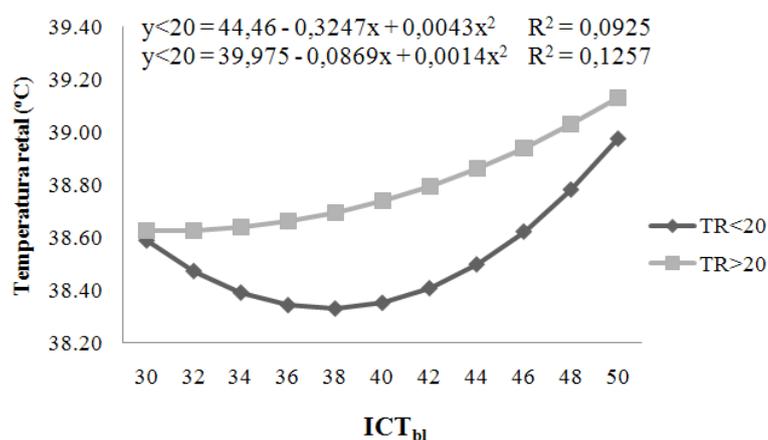


Figura 4. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da temperatura retal ($^{\circ}C$) de vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção de leite.

O ICT_{bl} mostrou efeito quadrático ($P < 0,01$) com a temperatura retal dos animais de alta e baixa produção de leite. Em animais de baixa produção a partir de um ICT_{bl} de 38 quanto maior o estresse ambiental maior será o valor da temperatura retal das vacas e que em animais de alta produção a elevação da temperatura retal ocorre a partir de um ICT_{bl} de 32. Este fato ocorre porque vacas de alta produção são mais sensíveis ao estresse térmico.

O aumento dos valores de ICT_{bl} promove elevação da FR de maneira mais acentuada em vacas leiteiras de alta produção (Figura 5). A frequência respiratória é um indicador mais sensível do estresse calórico do que a temperatura retal (Brown-Brandl et al., 2005). Segundo Pires et al. (2003) tendo excesso de estresse ambiental, os mecanismos não evaporativos se tornam ineficazes e a taxa de sudação e a frequência respiratória aumentam (evaporação cutânea e respiratória).

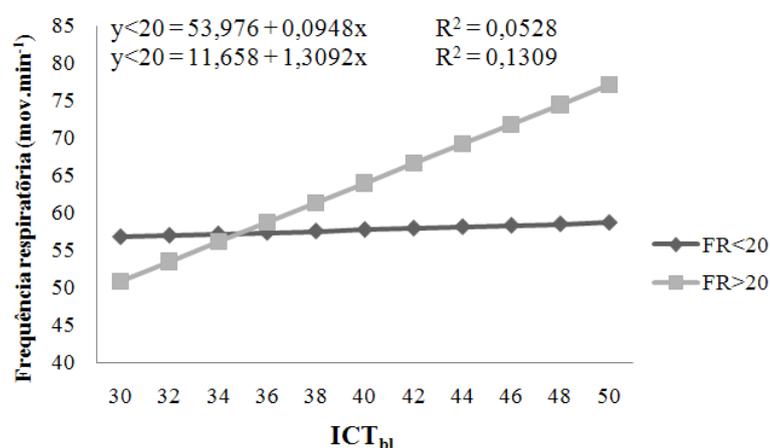


Figura 5. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função da frequência respiratória estimada (mov.min⁻¹) de vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção de leite.

Em relação ao nível de produção de leite (Figura 6) o aumento dos valores de ICT_{bl} promovem redução do nível de produção maneira mais acentuada em vacas leiteiras de alta produção.

Segundo Averdaño-Reys et al. (2006) condições de calor excessivo promovem redução no consumo alimentar, na produção de leite e no desempenho reprodutivo dos animais.

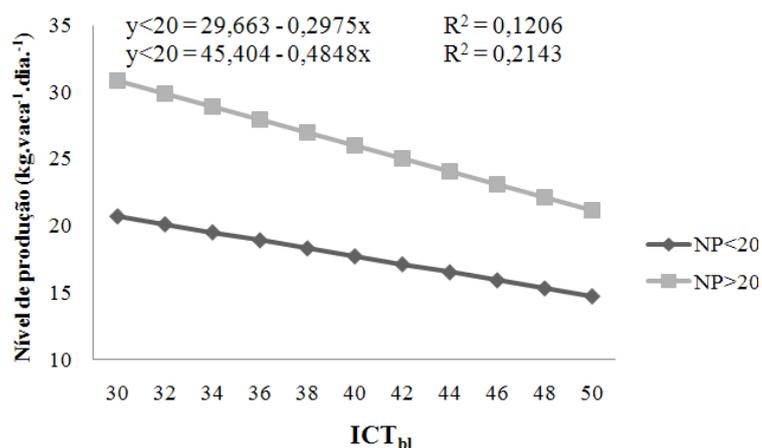


Figura 6. Efeito do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) em função do nível de produção estimado (kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) de vacas da raça Holandesa com diferentes níveis de produção de leite.

Segundo Taylor et al. (2006), normalmente, os animais de alta produção são considerados como mais susceptíveis ao estresse, assim a influência dos fatores de meio nestes animais são maiores.

O uso do ICT_{bl} para expressar o ambiente térmico é uma ferramenta eficiente para identificação dos entraves climatológicos a produção leiteira das vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite nas localidades avaliadas, o que forma possível adotar estratégias para minimizar o estresse calórico em vacas leiteiras. Observa-se que vacas de alta produção de leite (>20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) são mais sensíveis aos efeitos adversos do ambiente.

Conclusões

As variáveis ambientais analisadas nos períodos, não promoveram grandes alterações nas variáveis fisiológicas dos animais com diferentes níveis de produção de leite, principalmente em animais de baixa produção pela adaptação as condições climáticas das localidades analisadas.

Animais de alta produção de leite apresentaram maior sensibilidade aos efeitos do ambiente, indicando que em propriedades com o objetivo de criação de animais com maior potencial produtivo, é necessário cuidados especiais visando a redução do estresse ambiental.

O ICT_{bl} mostrou as maiores correlações com a temperatura retal, frequência respiratória e nível de produção de leite de vacas de alta e baixa produção de leite, sendo considerado o melhor índice para avaliação do estresse térmico de bovinos leiteiros para as localidades analisadas.

Referências

- AGUIAR, I. S.; BACCARI JR. F. Respostas fisiológicas e produção de leite de vacas holandesas mantidas ao sol e com acesso a sombra natural. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, n.1, p.1-4, 2003.
- ALMEIDA, G.L.P.; PANDORF, H.; GUISELINI, C.; et al. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1337-1344, 2010.
- ARCARO JR, I.; ARCARO, J.R.P; POZZI, C.R.; et al. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.350-354, 2003.
- AVENDAÑO-REYES, L.; ALVAREZ-VALENZUELA, F.D.; CORREA-CALDERÓN, A.; et al. Effect of cooling Holstein cows during the dry período on postpartum performance under heat stress conditions. **Journal of Livestock Science**, v.105, n.1-3, p.198-206, 2006.
- BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 2010. 269p.
- BARBOSA, O.R.; BOZA, P.R.; SANTOS, G.T.; et al. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. **Revista Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.26, n.1, p.115-122, 2004.
- BROWN-BRANDL, T.M.; EIGENBERG, R.A.; HAHN, G.L.; et al. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. **International Journal of Biometeorology**, v.49, p.285-296, 2005.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, n.24, p.711-714, 1981.
- EIGENBERG, R.A.; NIENABER, J.A.; BROWN-BRANDL, T.M. Development of a livestock safety monitor for cattle. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2003, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. [mimeo.].
- FERREIRA, F.; PIRES, F.A.; MARTINEZ, M.L.; et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.5, p.732-738, 2006.

- GAUGHAN, J.G.; GOOPY, J.; SPARK, J. **Excessive heat load index for feedlot cattle**. Sydney: MLA Ltda, 2002. (Meat and Livestock-Australia Project Report, 316). [mimeo.].
- GRECELLÉ, A.R., BARCELLOS, J.O.J., NETO, B.J.; et al. Taxa de prenhez de vacas Nelore x Hereford em ambiente subtropical sob restrição alimentar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1423-1430, 2006.
- MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIRO, Y.; et al. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, v.26, p.427-431, 2001.
- MOTA, F. S. **Climatologia zootécnica**. 1.ed. Pelotas: UFPel, 2001. 104p.
- PEGORER, M.F.; VASCONCELOS, J.L.M.; TRINCA, L.A.; et al. Influence of sire and sire breed (Gyr versus Hosltein) on establishment of pregnancy and embryonic loss in lactating Hosltein cows during summer heat stress. **Theriogenology**, v.67, p.692-697, 2007.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Biosistemas**, Campinas, v.1, n.2, p.117-126, 2007.
- PERISSINOTO, M.; MOURA,D.J.; MATARAZZO,S.V; et al. Efeitos da utilização de sistemas de climatização nos parâmetros fisiológicos de gado leiteiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.663-671, 2006.
- PIRES, M.F.A.; SILVA JR., J.LC.; CAMPOS, A.T.; et al. Zoneamento da região Sudoeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** – Embrapa, Juiz de Fora. 21p. 2003.
- PIRES, M. F. A. **Manejo nutricional para evitar o estresse calórico**, EMBRAPA, Juiz de Fora, MG, p. 1-4, 2006. (Comunicado técnico, 52).
- PORCIONATTO, M.A.F.; FERNANDEZ, A.M.; SARAN NETTO, A. et al. Influência do estresse calórico na qualidade e na produção de leite. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.4, p.483-490, 2009.
- SCHUTZ, K. E.; ROGERS, A. R.; COX, N. R.; et al. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behavior, and body temperature. **Applied Animal Behaviour Science**, v.116, n.1, p.28-34, 2009.
- SILVA, I. J. O. ; PANDORFI H.; ACARARO JR. I.; et al. Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas holandesas, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2036-2042, 2002.
- SILVA, R.G.; MORAIS, D.A.E.F.; GUILHERMINO, M.M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.1192-1198, 2007.
- SILVA, R.G. **Biofísica ambiental**. Os animais e seu ambiente. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2008, 393p.
- TAPKI, I.; SAHIN, A. Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. **Applied Animal Behaviour Science**, v.99, p1-11, 2006.
- TAYLOR, V.J.; BEEVER, D.E.; BRYANT, M.J.; et al. Pre-pubertal measurements of the somatotrophic axis as predictors of milk production in Holstein-Friesian dairy cows. **Domestic Animal Endocrinology**, v.31, p.1-18, 2006.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**. Versão 9.1. Viçosa, 2007.

V - Zoneamento bioclimático da bovinocultura de leite para a região sul do Brasil, utilizando índice de conforto térmico

RESUMO. Objetivando determinar o zoneamento bioclimático da bovinocultura de leite da região sul do Brasil e o declínio de produção de leite (DPL) de vacas com alta e baixa produção, nas condições térmicas dessas regiões, por meio de um índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}), foram utilizados dados meteorológicos médios diários de 69 estações meteorológicas distribuídas por toda a região sul do Brasil. As variáveis consideradas foram: temperatura do ar, pressão parcial de vapor, velocidade do vento e temperatura do globo negro que foram utilizadas para o cálculo do ICT_{bl} . Com os valores das variáveis ambientais, ICT_{bl} e DPL, foram traçadas as isolinhas dessas variáveis para a região sul do Brasil por meio do programa ARCGIS. As regiões mais estressantes da região sul apresentaram valores de ICT_{bl} variando entre 38 à 42 com declínio da produção de leite para animais de baixa produção ($DPL_{<20}$) entre 2 à 3 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹ e declínio da produção de leite para animais de alta produção ($DPL_{>20}$) entre 3 à 5 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹. No estado do Paraná as regiões dos Campos gerais, centro-sul e parte da região central; no estado de Santa Catarina todo o planalto central e parte do norte e do vale catarinense e no estado do Rio Grande do Sul a região Serra gaúcha e os Campos de cima da serra são consideradas as regiões mais adequadas para a atividade leiteira.

Palavras-chave: ambiente, estresse térmico, termorregulação

Zoning in southern Brazil, using the thermal comfort index for dairy cattle

ABSTRACT. Aiming to determine the zoning bioclimatology of southern Brazil and the decline of dairy milk production (DMP) of cows with high and low production at the temperatures in this region by means of with the thermal comfort index for dairy cattle (TCI_{dc}) there were used daily average meteorological data from 69 weather stations distributed throughout the southern region of Brazil. The variables considered were: air temperature, vapor partial pressure, wind speed and black globe temperature that were used to calculate the TCI_{dc} . With the values of environmental variables, TCI_{dc} and DMP, were traced the contours of these variables to southern Brazil through the program ARCGIS. The most stressful parts of southern TCI_{dc} showed values ranging from 38 to 42 with a decline in milk production for animals of low production ($DMP_{<20}$) at 2 to 3 kg.vaca⁻¹.day⁻¹ and production decline for animals of high milk production ($DMP_{>20}$) from 3 to 5 kg.vaca⁻¹.day⁻¹. In the state of Parana region of Campos Gerais,

South Central and part of the region Central in the state of Santa Catarina throughout the central plateau, the northern part and valley catarinense and the state of Rio Grande do Sul the region of Serra gaucha and top fields of the Serra gaucha region are considered more appropriate for dairy cow.

Key Words: environment, heat stress, thermoregulation

Introdução

A zona de neutralidade térmica varia de acordo com a taxa metabólica, sendo para a vaca leiteira de alta produção de leite que produz uma grande quantidade de calor metabólico, uma zona de neutralidade térmica baixa (Robinson, 2004).

O estresse térmico pode ser definido como a somatória de forças externas ao animal homeotérmico, desequilíbrio entre condições ambientais e animal que alteram a temperatura corporal do estado de repouso, ou seja, a condição de homeostase. Entre os principais problemas que interferem na produção de leite, sobretudo em vacas de alta produção que necessitam de maior ingestão de alimentos e, conseqüentemente, maior produção de calor metabólico, o estresse calórico causa efeitos negativos a produção de leite (Pegorer, 2007).

Além da redução no consumo de alimentos, as respostas das vacas em lactação ao estresse térmico incluem: redução na produção e porcentagem de gordura no leite; redução no consumo de forragem como porcentagem do total de alimento, quando oferecida separadamente; aumento das necessidades de manutenção; diminuição da atividade, especialmente durante o dia; aumento da frequência respiratória e hipertermia (Baccari Jr., 2001).

Por apresentarem uma função especializada para produção de leite e alta eficiência na utilização alimentos, os animais de alta produção apresentam metabolismo acelerado e alta produção de calor metabólico, tornando-se mais sensíveis e mais susceptíveis ao estresse térmico. Em conseqüência de sua ação sobre o consumo de alimentos, o

estresse térmico causa efeitos marcantes sobre o metabolismo da glândula mamária e da produção do leite (Arcaro Jr et al., 2003).

O zoneamento bioclimático por meio do monitoramento das condições climáticas permite a previsão de áreas com probabilidade de ocorrência do estresse calórico, que pode ser comprovado por meio de aferição de uma série de parâmetros como: temperatura retal, frequência respiratória, ingestão de água, produção de leite, reprodução, comportamento de ruminância, descanso (Pires et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi estabelecer um zoneamento bioclimático para a bovinocultura de leite na região sul do Brasil e avaliar o declínio da produção de leite de vacas da raça Holandesa de alta e baixa produção de leite, utilizando o índice de conforto térmico para bovinos de leite.

Material e Métodos

Para traçar as isolinhas da temperatura do ar (T_a), pressão parcial de vapor (P_v), velocidade do vento (V_v) e temperatura do globo negro (T_g) foram utilizadas as médias diárias de doze anos de 69 estações meteorológicas da região sul do Brasil, abrangendo os anos de 1998 a 2009. Os dados foram obtidos por meio do levantamento de um banco de dados e das normais climatológicas de 37 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-DF), sendo seis estações localizadas no estado do Paraná, oito no estado de Santa Catarina e 23 estações no estado do Rio Grande do Sul; e 32 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), (Figura 7).

A partir do modelo proposto por Sedyama et al. (2001) para o estado capixaba, utilizando os elementos climáticos (temperatura do ar, pressão parcial de vapor, temperatura do globo negro e velocidade do vento), altitude, latitude e longitude, foram

estimadas as regressões múltiplas para os estados da região sul do Brasil. Isso possibilita analisar a abrangência geográfica dos campos homogêneos, materializando os valores dos elementos climáticos em forma de mapas georreferenciados, para cada região e para cada mês.

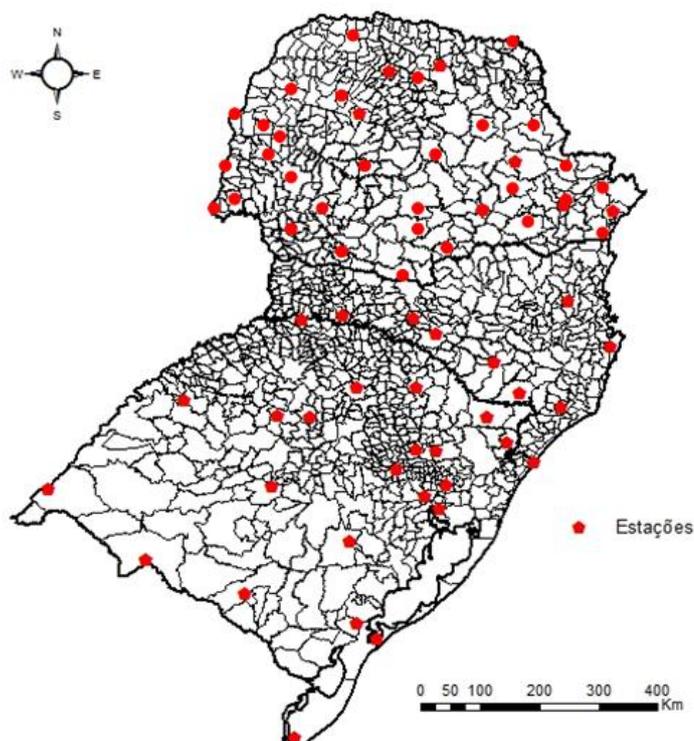


Figura 7. Localização das estações meteorológicas do INEMT-DF e IAPAR-PR na região sul do Brasil.

As variáveis ambientais (T_a , P_v , T_g e V_v) foram utilizadas para determinar os modelos lineares (método dos mínimos quadrados) de todas as estações meteorológicas disponíveis do banco de dados, no intuito de minimizar possíveis erros com ausência de estações meteorológicas na região estudada. As análises de regressão múltiplas para o zoneamento (SAEG, 2007) foram calculadas com estes dados, obedecendo o seguinte modelo geral:

$$Y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + e_i$$

em que,

Y_i = elementos climáticos (temperatura do ar, pressão parcial de vapor, temperatura do globo negro e velocidade do vento)

X_1 = latitude do local em graus decimais;

X_2 = longitude do local em graus decimais;

X_3 = altitude do local em metros;

e_i = erro

Neste estudo o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) foi calculado a partir da equação:

$$ICT_{bl} = 0,6354Ta + 0,6312Tg + 0,4438Pv + 0,0310Vv$$

em que,

Ta = Temperatura do ar ($^{\circ}C$)

Tg = Temperatura do globo negro ($^{\circ}C$)

Pv = Pressão parcial de vapor (kPa)

Vv = Velocidade do vento ($m.s^{-1}$)

A temperatura de globo negro, medida por meio de um globo negro de Vernon, representa, num único valor, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, a partir do qual se pode concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente. Uma desvantagem do uso de índices que utilizem esta informação para fazer o diagnóstico bioclimático de uma determinada região é a inexistência de medições da

temperatura do globo negro nas estações meteorológicas distribuídas ao longo do país. Utilizando a equação proposta por Abreu (2008) é possível estimar a temperatura do globo negro a partir da temperatura do bulbo seco:

$$T_g = -1,722 + 0,888T_{bs} + 0,017T_{bs}^2$$

em que:

T_g = Temperatura do globo negro, em °C e

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco em °C.

Considerando o efeito das relações funcionais entre ambiente climático e desempenho de vacas leiteiras em condições ambientais de produção convencional em três localidades da região sul do Brasil (Cascavel/PR, Chapecó/SC e Erechim/RS), foi desenvolvido uma equação para estimar o declínio na produção de leite de vacas da raça Holandesa em função do ICT_{bl} para animais de baixa produção de leite ($<20 \text{ kg.vaca}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) e alta produção de leite ($>20 \text{ kg.vaca}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$).

$$DPL_{<20} = 0,2975ICT_{bl} - 9,897825$$

$$DPL_{>20} = 0,4848ICT_{bl} - 16,129296$$

em que,

$DPL_{<20}$ = declínio da produção de leite em vacas de baixa produção de leite

$DPL_{>20}$ = declínio da produção de leite em vacas de alta produção de leite

ICT_{bl} = índice de conforto térmico para bovinos de leite

Para a interpretação dos resultados obtidos das estimativas do declínio da produção de leite, assumiu-se que valores positivos significam perda na produção de leite e valores negativos representam incrementos na produção leiteira dos animais.

Os mapas estaduais com as isolinhas foram desenvolvidos no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) de Londrina, PR, por meio de um conjunto de sistemas de informação geográficas “ARCGIS”.

Foram geradas equações de regressão com base na latitude (graus decimais), longitude (graus decimais) e altitude (metros). Com base na malha de altitude SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 90 metros de resolução espacial (pixel de 90 x 90 m) foi gerada uma nova matriz de valores através da reclassificação para 900 metros (pixel de 900 x 900m). Também foram geradas matrizes para a latitude e longitude com os mesmos 900 m de resolução espacial para efetuar os cálculos por pixel da imagem.

O conjunto de médias meteorológicas caracterizando cada localidade, em todos os meses do ano, foi multiplicado pelo índice de conforto térmico para bovinos de leite, e_i , obtendo-se o valor y_1 que resume todos os elementos ambientais e caracteriza o ambiente. Juntando os pontos y_1 correspondentes às localidades, foram construídas as isolinhas de conforto térmico.

Das isolinhas obtidas para as variáveis acima mencionadas, foi selecionado o mês de janeiro como o mais estressante para produção leiteira, com base nos valores das variáveis ambientais e do índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}).

Resultados e Discussão

Segundo Pires et al. (2003), a distribuição geográfica das estações meteorológicas e a escassez de dados meteorológicos em grandes áreas limitam estudos suficientemente

detalhados. Neste estudo, utilizaram as estações meteorológicas disponibilizadas pelo banco de dados do INMET e IAPAR, com isso se admite que tais pontos sejam representativos de algumas grandes áreas dos estados analisados.

Nos mapeamentos de campos homogêneos dos elementos do clima, a utilização de modelos lineares, cujas variáveis englobam os fatores geográficos, facilita as regiões limítrofes desses campos além de a representatividade dos campos ficarem mais próximos da realidade (Sediyama, 2001). Na Tabela 15, encontram-se as equações de regressão para temperatura do ar, pressão parcial de vapor, temperatura do globo negro e velocidade do vento do mês de janeiro para todos os estados da região sul do Brasil.

Tabela 15. Parâmetros das equações de regressão para temperatura do ar, pressão parcial de vapor, temperatura do globo negro, velocidade do vento e índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) para o mês de janeiro na região sul do Brasil.

Variável	a	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Temperatura do ar	1,902,543	0,47339	-0,38275	-0,00528	0,95
Pressão parcial de vapor	484,452	0,07201	0,00795	-0,00065	0,94
Temperatura do globo negro	2,125,808	0,77846	-0,62878	-0,00865	0,95
Velocidade do vento	-254,939	-0,19459	0,01601	-0,00004	0,25
ICT _{bl}	2,747,111	0,81617	-0,63685	-0,00906	0,95

Os coeficientes de determinação das equações para temperatura do ar (0,95), pressão parcial de vapor (0,94), temperatura do globo negro (0,95) e o índice de conforto térmico para bovinos de leite (0,95) foram ajustados de maneira mais precisa que para a velocidade do vento (0,25). Todas as equações de regressão lineares foram significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de F.

A temperatura do ar é considerada o elemento climático com maior influência sobre o ambiente físico do animal, apresentando como a principal variável a ser considerada nos aspectos de produção animal. Altas temperaturas do ar, principalmente

quando associadas a umidades relativas do ar também elevadas, afetam a produção de leite, a reprodução, aumentam a mortalidade, a susceptibilidade as mais variadas doenças e causam notáveis prejuízos econômicos a atividade pecuária (Pereira, 2005). Na Figura 8, observa-se o zoneamento bioclimático da região sul do Brasil, baseado na temperatura do ar para o mês de janeiro.

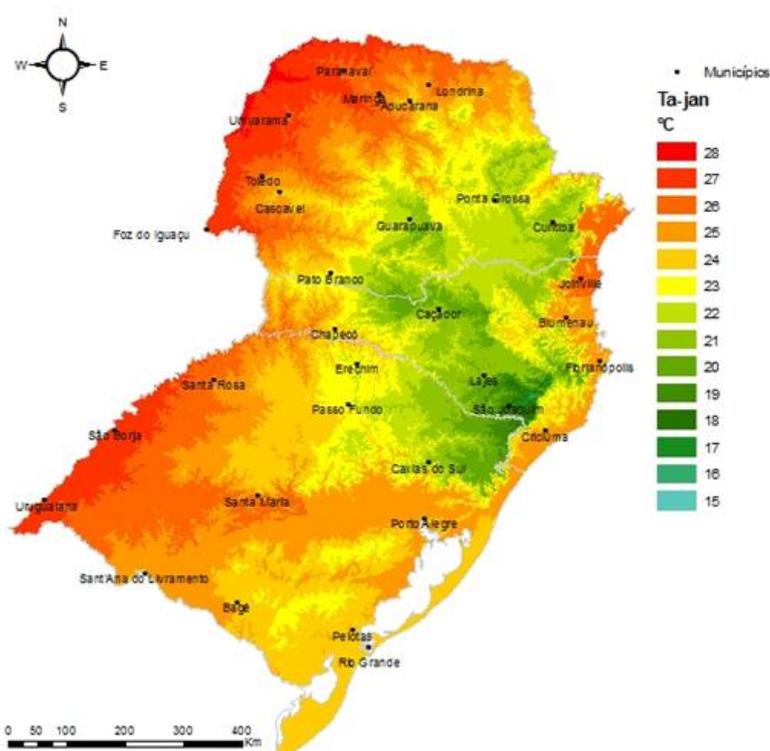


Figura 8. Distribuição espacial da temperatura do ar (Ta) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.

As maiores temperaturas médias do ar foram observadas no estado do Paraná e Rio Grande do Sul. No estado do Paraná, observou-se que no litoral e em grande parte das regiões noroeste e oeste, englobando as cidades de Maringá, Paranavaí, Umuarama e Foz do Iguaçu e no estado do Rio Grande do Sul a região do sudoeste envolvendo Santa Rosa, São Borja e Uruguaiana apresentaram temperaturas do ar médias para o mês de janeiro com valores entre 26 a 28°C. Segundo Martello et al. (2004) para vacas

leiteiras em período de lactação, os limites ideais de temperatura do ar devem estar em torno de 4 a 24°C, havendo uma restrição para um limite entre 7 e 21°C pela ação da radiação solar e da umidade relativa. Assim, estas regiões podem apresentar condições de desconforto térmico para vacas em lactação, sendo necessárias medidas de controle do estresse para os animais desempenharem seu potencial produtivo e reprodutivo.

As menores temperaturas do ar para o mês de janeiro na região sul do Brasil apresenta valores médios entre 18 a 22°C. No Paraná compreende as regiões dos Campos Gerais (Carambeí e Castro), centro-sul (Guarapuava), Zona metropolitana de Curitiba e parte do centro paranaense. Em Santa Catarina esta região é observada em todo o planalto central (Caçador) e parte do norte e do vale catarinense envolvendo as cidades de Lages e São Joaquim. A menor temperatura do ar de 15°C foi observada na cidade de Bom Retiro/SC com 1831 metros acima do nível do mar. No estado do Rio Grande do Sul a região da Serra gaúcha (situada próximo as cidades de Bento Gonçalves e Caxias do Sul) e os Campos de cima da serra (Bom Jesus e Vacaria), apresentam as menores temperaturas do ar para o mês de janeiro. Os menores valores da temperatura do ar, observados nas regiões se deve a variação da temperatura com a altitude.

Observa-se a existência de uma faixa intermediária de temperatura do ar variando de 23 a 25°C que se estende do Paraná até o Rio Grande do Sul e engloba algumas das principais bacias leiteiras da região. No Paraná a região de Cascavel, Toledo e Marechal Cândido do Rondon, em Santa Catarina a região oeste (Chapecó e Pinhalzinho) e no Rio Grande do Sul a região noroeste (Erechim, Passo Fundo e Carazinho).

De acordo com Silva (2008) a umidade do ar é o termo utilizado para descrever a quantidade de vapor de água contido na atmosfera e suas quantidades variam conforme a região, estação do ano e altitude. A quantidade de vapor de saturação depende da

temperatura do ar, quanto maior a temperatura, tanto maior a quantidade de vapor que pode permanecer na atmosfera e, portanto maior a pressão de saturação. Na Figura 9, observa-se a distribuição espacial da pressão parcial de vapor para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.

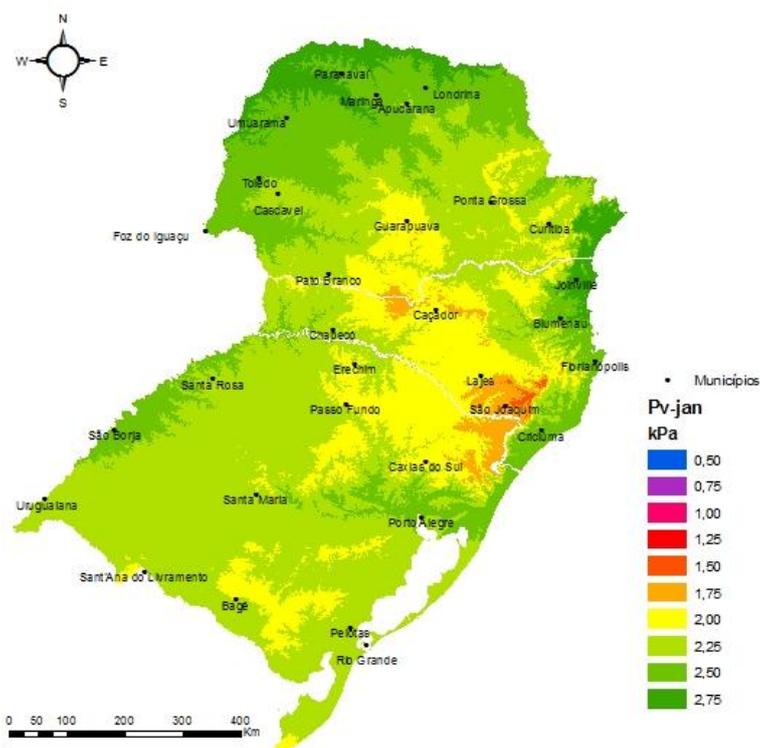


Figura 9. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (Pv) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.

Os maiores valores de pressão parcial de vapor observadas na região sul do Brasil para o mês de janeiro foram de 2,50 a 2,75 kPa ou 75 a 80% de umidade relativa. No estado do Paraná o litoral e as regiões norte, noroeste e oeste englobando as cidades desde Londrina, Maringá, Umuarama, Toledo até Foz do Iguaçu apresentaram as maiores concentrações de vapor de água. No estado catarinense os maiores valores foram observados na região litorânea com destaque para a região nas proximidades de Joinville que se destaca como a mais úmida do estado. No Rio Grande do Sul o maior valor de pressão parcial de vapor foi de 2,50 kPa e ocorreram no litoral norte do estado,

em grande parte da região metropolitana de Porto Alegre e em uma faixa do noroeste que faz divisa com a Argentina, localizada entre São Borja e Derrubadas.

É possível verificar que algumas das regiões com maior pressão parcial de vapor apresentaram altas temperaturas do ar e que esta associação pode causar desconforto térmico nos animais. Segundo Aguiar et al. (2003) altas temperaturas do ar, sobretudo quando associadas a altas umidades e intensa radiação solar são responsáveis pela diminuição na produção de leite de vacas de média e alta produção pelo estresse térmico. Para West (2003) quando a temperatura ambiente for maior que 29°C e umidade relativa correspondente a 40%, a produção das vacas da raça Holandesa, Jersey e Pardo Suíça equivaleram a 97, 83 e 98% da produção de leite normal e, quando a umidade relativa é igual a 90%, a produção de leite foi 69, 75 e 83% da produção normal.

Observa-se a ocorrência de uma grande faixa territorial se estendendo do Paraná até o Rio Grande do Sul com pressão parcial de vapor de 2,25 kPa ou 70% de umidade relativa do ar. As maiores bacias leiteiras são encontradas dentro desta faixa de pressão parcial de vapor, sendo no estado do Paraná a bacia nas proximidades de Cascavel, Toledo e Marechal Cândido Rondon e a bacia localizada nos Campos gerais nas cidades de Castro e Carambeí. Em Santa Catarina a bacia leiteira da região Oeste localizada nas proximidades de Chapecó e Pinhalzinho, enquanto no estado rio-grandense na faixa de pressão parcial de vapor é mais visível, localizando-se em grande parte das regiões Noroeste, Centro Ocidental, Sudoeste e Sudeste.

As regiões com maiores altitudes apresentaram valores inferiores a 2,00 kPa, com mínima de 1,25 kPa ou umidade relativa de 37%. No Paraná, localizam-se nas proximidades de Guarapuava e no centro-sul próximo a General Carneiro. Em Santa Catarina na região entre Caçador e São Joaquim e no Rio Grande do Sul na região da

Serra gaúcha e Serra do sudeste. Estes menores valores ocorrem porque o ar se tornar mais rarefeito, ou seja, a concentração de gases e vapor de água é menor à medida que aumenta a altitude. De acordo com Starling et al. (2002) a umidade do ar estando baixa causa desidratação e irritação na pele e mucosas predispondo o animal a várias patologias. No caso de umidade elevada ocorre uma diminuição da perda de calor corporal para o meio, comprometendo o equilíbrio térmico.

Na espacialização da velocidade do vento da região sul do Brasil (Figura 10), observa-se faixas definidas com diferentes velocidades do vento para o mês de janeiro. As menores velocidades do vento (m.s^{-1}) foram observadas no estado do Paraná na faixa de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ em uma pequena faixa no extremo norte (divisa com o estado de São Paulo). A faixa abrangendo da região do oeste e noroeste até o extremo norte do litoral, onde se localiza cidades como Cascavel, Maringá, Paranavaí, Castro e Ponta Grossa apresentou velocidade do vento de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$.

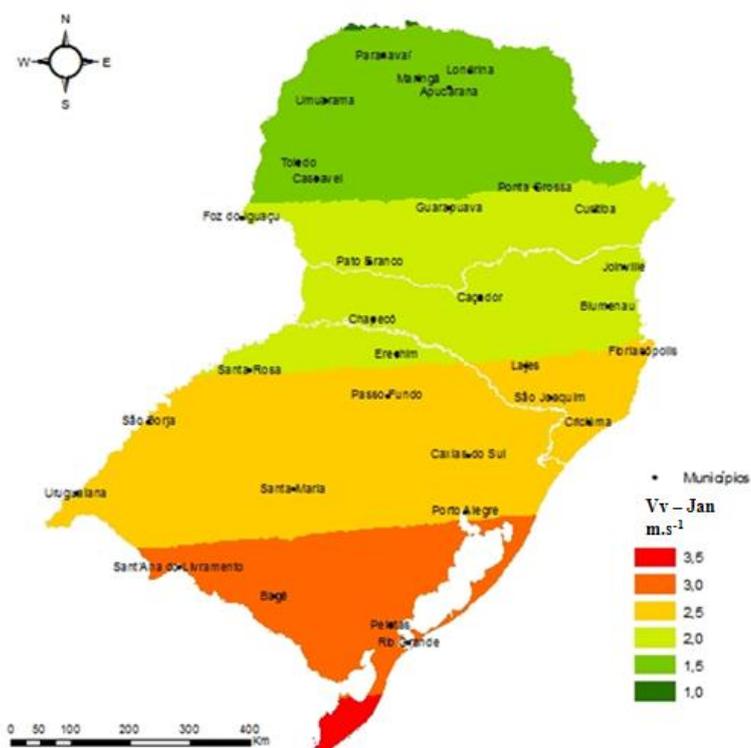


Figura 10. Distribuição espacial da velocidade do vento (V_v) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.

Observa-se que a faixa de velocidade do vento de $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ se estende desde Guarapuava no estado do Paraná, Chapecó, Caçador e Blumenau em Santa Catarina até Santa Rosa e Erechim no noroeste rio-grandense. A região leste, sul e parte do Planalto de Santa Catarina, juntamente com a faixa do Rio Grande do Sul de Uruguaiana, Porto Alegre ao litoral apresenta velocidade do vento média de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$. As maiores velocidades do vento para o mês de janeiro foram observadas nas regiões sudoeste e sudeste do Rio Grande do Sul (abrangendo cidades como Santana do Livramento, Bagé, Pelotas e Santa Vitória do Palmar), variando de 3,0 a 3,5 m/s.

Baeta & Souza (2010) consideram que, para bovinos, as melhores condições climáticas seriam de temperatura entre 10 e 27°C , umidade relativa do ar de 60 a 70% e velocidade dos ventos de 5 a 8 km.h^{-1} ($1,39$ a $2,22 \text{ m.s}^{-1}$), possibilitando maior perda de calor. De acordo com os autores as condições ambientais de quase toda a região Sul estão dentro da faixa de conforto térmico para bovinos leiteiros.

Segundo Pires (2006), o estresse térmico é o conjunto das alterações que ocorrem no organismo animal na tentativa de reagir às condições ambientais como: altas temperaturas, alta umidade do ar e excesso de radiação solar. A Figura 11 mostra a distribuição espacial da temperatura do globo negro no mês de janeiro para a região sul do Brasil.

As maiores temperaturas do globo negro médias foram observadas no estado do Paraná e Rio Grande do Sul. No estado do Paraná, observou-se que o litoral e grande parte das regiões noroeste e oeste, englobando as cidades de Maringá, Paranavaí, Umuarama e Foz do Iguaçu e no estado do Rio Grande do Sul a região do sudoeste onde se localizam as cidades de Santa Rosa, São Borja e Uruguaiana apresentaram temperaturas do globo negro médias de 32 à 36°C .

De acordo com Mota (2001), a faixa de temperatura do globo negro considerada ótima para vacas em lactação é de 7 a 26°C; regular, entre 27 e 34°C, regular e crítica acima de 35°C. Estas regiões apresentam uma faixa regular de conforto térmico, desta forma alguns métodos para melhorar o conforto térmico dos animais pode ser necessário. Schutz et al. (2009) relatam que o fornecimento de locais sombreados que oferecem uma maior proteção contra a radiação solar, amenizam o estresse calórico e promove aumento na produção leiteira.

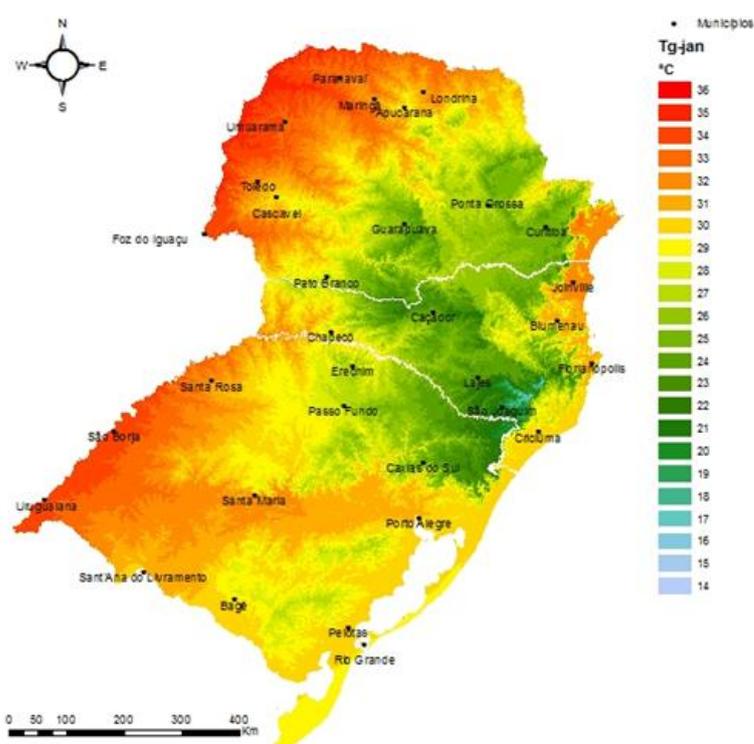


Figura 11. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (Tg) para o mês de janeiro para a região sul do Brasil.

As menores temperaturas do globo negro para o mês de janeiro na região sul do Brasil apresenta valores médios entre 24 à 14°C. No Paraná compreende as regiões dos Campos gerais onde se localiza a bacia leiteira próxima às cidades de Carambeí e Castro, centro-sul, zona metropolitana de Curitiba e parte do centro paranaense. Em Santa Catarina todo o planalto central e parte do norte e do vale catarinense envolvendo as cidades de Caçador, Lages e São Joaquim. No Rio Grande do Sul a região da Serra

gaúcha e os campos de cima da serra apresentam as menores temperaturas do globo negro.

Como a evolução na produção de leite está associada ao aumento da ingestão de matéria seca, aumentando assim o calor metabólico para produção de leite prejudicando o balanço térmico em períodos de estresse. Esses fatores somados a elevadas temperaturas, alta umidade relativa do ar e radiação solar, provocam hipertermia ou até mesmo estresse térmico nos animais, que se caracteriza por qualquer combinação de condições ambientais que deixem a temperatura ambiente maior que a zona de termoneutralidade do animal (Cruz et al. 2011).

O índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) foi desenvolvido para determinar o estresse térmico em vacas da raça Holandesa, condensando em uma única resposta o efeito de quatro variáveis climáticas: temperatura do ar ($^{\circ}C$), pressão parcial de vapor (kPa), velocidade do vento ($m.s^{-1}$) e temperatura do globo negro ($^{\circ}C$). Outra vantagem na utilização deste índice é a capacidade de avaliação do estresse térmico animal em ambientes não confinados pelo uso da temperatura de globo negro. A Figura 12 mostra o zoneamento bioclimático para vacas da raça Holandesa na região sul do Brasil, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite para o mês de janeiro.

No Paraná, as regiões dos Campos gerais onde se localiza uma importante bacia leiteira do estado nas proximidades das cidades de Carambeí e Castro, a região centro-sul a zona metropolitana de Curitiba e parte do Centro paranaense apresentam valores do ICT_{bl} no mês de Janeiro, entre 26 à 28 sendo consideradas as regiões mais propícias para a atividade leiteira no estado em virtude do conforto térmico.

Em Santa Catarina todo o planalto central e parte do norte e do vale catarinense envolvendo as cidades de Caçador, Lages e São Joaquim foram consideradas as mais

adequadas para o conforto dos animais, apresentando ICT_{bl} variando de 18 a 28. As regiões de melhor conforto térmico no estado do Rio Grande do Sul foram as regiões da Serra gaúcha e os Campos de cima da serra, com valores de ICT_{bl} variando entre 26 a 28.

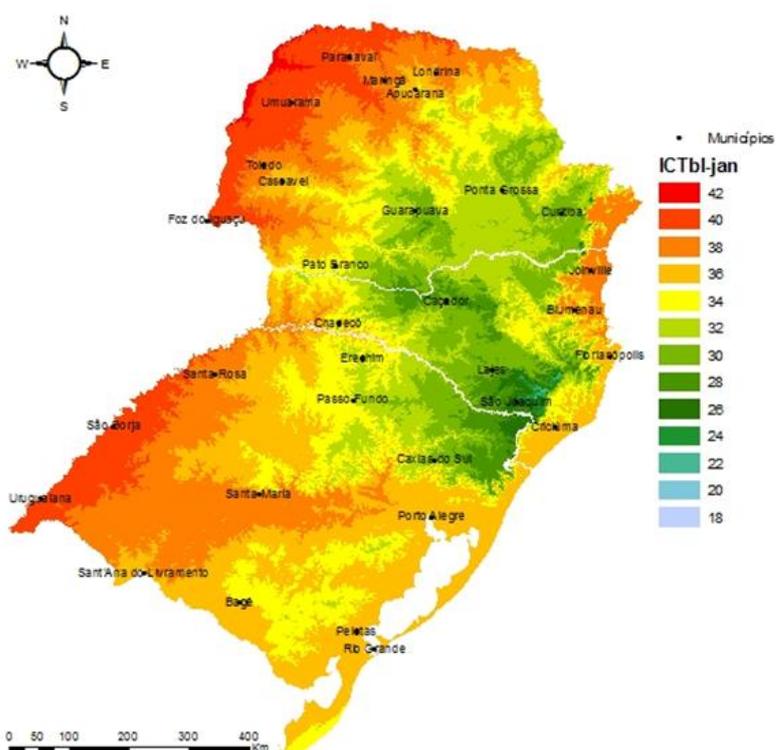


Figura 12. Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de janeiro para a região sul do Brasil.

Os maiores valores do Índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) variando de 38 a 42 foram observados em todos os estados da região sul. No estado do Paraná, as regiões consideradas mais estressantes para vacas leiteiras são o litoral e grande parte das regiões noroeste e oeste, englobando as cidades de Maringá, Paranavaí, Umuarama e Foz do Iguaçu com variação do ICT_{bl} de 38 a 42. Em Santa Catarina o litoral da região do norte e do vale catarinense apresentaram valores de ICT_{bl} de 38 sendo consideradas as mais estressantes do estado. No Rio Grande do Sul a região do

sudoeste (Santa Rosa, São Borja e Uruguaiana) e a região centro ocidental onde se localizam as cidades como Santa Maria e Santana do Livramento, caracterizaram-se como as mais estressantes do estado, com valores de ICT_{bl} variando de 38 a 42.

De acordo com Turco et al. (2006), nestas condições termicamente desconfortáveis, as vacas holandesas podem reduzir consideravelmente o consumo de matéria seca, na tentativa de diminuir a taxa metabólica e a consequente produção de calor metabólico. Esta redução do consumo voluntário de alimentos pode causar decréscimos na produção de leite em vacas submetidas ao estresse pelo calor. Para a criação de animais de alta produção de leite nestas regiões com ICT_{bl} variando entre 38 a 42, os produtores devem garantir manejo e instalações adequadas para a redução do estresse térmico.

Segundo Ferro et al. (2010), os efeitos do estresse calórico nas vacas de leite, principalmente os animais com alto potencial são uma barreira que é ultrapassada não apenas com os métodos imediatos como ventilação, sistemas de resfriamento adiabático evaporativo, mas acima de tudo com planejamentos em longo prazo. A ameaça do aquecimento global acarretará em intensificação das condições climáticas, no futuro, que pode tornar ainda mais estressante o clima para os animais nas regiões tropicais. Certamente, as alternativas de base diante da ameaça do aquecimento global são o incremento da ventilação, genética, disponibilidade de quantidade e qualidade da água, modificação da dieta e a implantação de bosques e florestas que bloqueiam a ação da radiação solar e proporcionam conforto térmico aos animais.

De acordo com Pires et al. (2003), caso a previsão de aquecimento global se torne realidade, somente o esforço conjunto de técnicos, pesquisadores e produtores poderá reverter esse quadro, pelo conhecimento real da magnitude do problema e busca de alternativas viáveis e adaptadas a cada situação. Assim, o zoneamento da região sul do

sul, na zona metropolitana de Curitiba e parte da região central não foram verificadas perdas da produção de leite, apresentando valores de $DPL_{<20}$ variando de 0 a $-1 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Em Santa Catarina as regiões do planalto central e parte do norte e do vale catarinense envolvendo as cidades de Caçador, Lages e São Joaquim os animais apresentaram ganhos de até $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em função do conforto térmico. No Rio Grande do Sul animais criados na região da Serra gaúcha e dos Campos de cima da serra apresentam ganho de até $2 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Estas regiões são consideradas as regiões propícias para criação de animais com produção abaixo de $20 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ na região sul do Brasil.

No estado do Paraná, as regiões com maiores declínios na produção de leite para animais de baixa produção de leite ($DPL_{<20}$) ocorreram no litoral e grande parte das regiões noroeste e oeste, englobando as cidades de Maringá, Paranavaí, Umuarama e Foz do Iguaçu com perdas na produção variando de 2 a $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. A região norte do litoral do estado de Santa Catarina, nas proximidades da cidade de Joinville, apresentou as maiores perdas na produção do estado com valores de $DPL_{<20}$ de $2 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. No estado do Rio Grande do Sul a região sudoeste, onde se localizam as cidades de Santa Rosa, São Borja e Uruguaiana e a região sentro ocidental, englobando os municípios de Santa Maria e Santana do Livramento, apresentaram os maiores declínios na produção de leite para animais de baixa produção com perdas variando de 2 a $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Para evitar perdas na produção leiteira nessas regiões deve ser adotadas medidas para amenizar ou eliminar o estresse térmico nas vacas.

Por possuir uma função especializada para produção de leite e alta eficiência na utilização alimentos, os animais de alta produção apresentam metabolismo acelerado e alta produção de calor metabólico, tornando-se mais sensíveis e mais susceptíveis ao estresse térmico. Em consequência de sua ação sobre o consumo de alimentos, o

estresse térmico causa efeitos marcantes sobre o metabolismo da glândula mamária e na produção de leite (Arcaro Jr. et al., 2003).

No verão, a capacidade de perda de calor fica comprometida em função das condições climáticas, aliada a isso, a alta produção de calor das vacas de alta produção de leite as torna mais susceptíveis ao estresse térmico (Pires, 2006). Assim, é possível verificar (Figura 14) que o declínio na produção de leite em vacas de alta produção (>20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹) é mais acentuado que em animais de baixa produção, sendo este declínio de 5 a -5 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹ na região sul do Brasil.

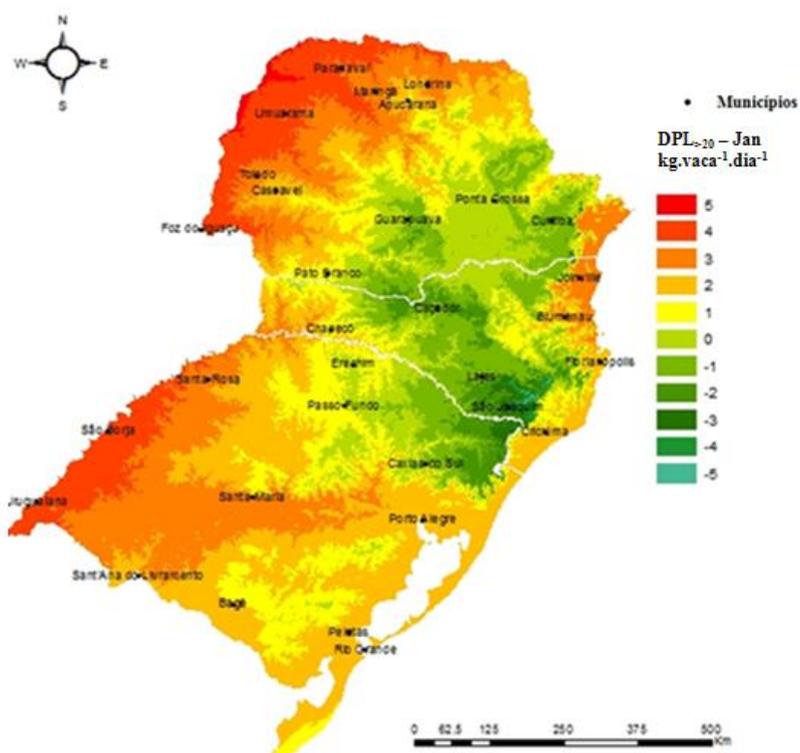


Figura 14. Prognóstico do declínio da produção de leite, em função do ICT_{bl}, referente ao mês de janeiro na região sul do Brasil para vacas da raça Holandesa com alta produção de leite (>20 kg.vaca⁻¹.dia⁻¹).

No estado do Paraná as regiões dos Campos gerais nas proximidades das cidades de Carambeí e Castro, na região centro-sul, na zona metropolitana de Curitiba e parte da região central não foram verificadas perdas da produção de leite, apresentando valores

de $DPL_{>20}$ variando de 0 a $-2 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. No Rio Grande do Sul animais criados na região da serra gaúcha e dos campos de cima da serra apresentam ganho na produção de leite de até $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Em Santa Catarina as regiões do planalto central e parte do norte e do vale catarinense envolvendo as cidades de Caçador, Lages e São Joaquim os animais apresentaram ganhos de até $5 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em função do conforto térmico. Os benefícios gerados pelo clima destas regiões garantem conforto térmico aos animais promovendo aumentos na produtividade animal e com isso incrementos na renda da propriedade leiteira.

No estado do Paraná, as regiões com maiores declínios na produção de leite para animais de alta produção de leite ($DPL_{>20}$) ocorreram no litoral e grande parte das regiões noroeste, oeste e norte, englobando as cidades de Bandeirantes, Londrina, Maringá, Paranavaí, Umuarama e Foz do Iguaçu com perdas na produção variando de 5 a $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. No estado do Rio Grande do Sul a região sudoeste, onde se localizam as cidades de Santa Rosa, São Borja e Uruguaiana e a região centro ocidental englobando os municípios de Santa Maria e Santana do Livramento, apresentaram $DPL_{>20}$ de 5 a $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. O estado de Santa Catarina não apresentou regiões com $DPL_{>20}$ superiores a $3 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Toda a região litorânea do estado, representada pelas cidades de Joinville, Blumenau e Florianópolis, apresentou $DPL_{>20}$ de 3 a $2 \text{ kg.vaca}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

Nestas regiões em que o estresse térmico é um problema constante e grave, medidas de modificação das instalações para resfriar as vacas devem ser adotadas pelos produtores para minimizar seus efeitos. Segundo Cruz et al. (2011), o uso de instalações que reduzam o calor pode melhorar tanto a produção de leite como as taxas de prenhez. A redução no calor depende da otimização da troca de calor através de convecção,

condução, radiação e evaporação, e o melhor sistema de resfriamento depende de cada local.

De acordo com Turco et al. (2006), a manutenção, ou mesmo o aumento da produção, pode ser conseguida por meio de técnicas de manejo relacionadas com o condicionamento do ambiente ao animal.

De acordo com Baeta & Souza, (2010) vários artifícios podem ser utilizados para interferir no ambiente natural dos animais de maneira a reduzir o estresse calórico, como o uso de sombreamento, que pode reduzir de 30% ou mais a carga térmica da radiação solar, quando comparada a carga recebida pelo animal ao ar livre, também poderá ser utilizado o resfriamento do próprio ar ambiente e diretamente do animal, por meio de ventiladores, e indiretamente pelo resfriamento dos elementos construtivos, como as coberturas.

Conclusões

Com zoneamento bioclimático e a espacialização do declínio na produção de leite em animais de alta e baixa produção para a região sul do Brasil, podendo conhecer as regiões de desconforto térmico para vacas da raça Holandesa e suas possíveis perdas pelas condições climáticas desfavoráveis, sendo essas ferramentas importantes para tomadas de decisão de técnicos e produtores que explorarão animais de maior nível de produção e de maior sensibilidade para as condições climáticas.

O produtor que já trabalha com gado de leite ou aquele que pensa em ingressar na atividade leiteira e cujas propriedades encontram situadas em algumas daquelas regiões apontadas pelo zoneamento como áreas de risco para a pecuária leiteira devem utilizar medidas de conforto térmico para cada propriedade.

A escolha de áreas mais propícias a produção leiteira em função do índice de conforto térmico para bovinos de leite, deve ser analisada em conjunto com outros fatores que também contribuam para a definição de áreas adequadas a atividade leiteira, fornecendo subsídios para o desenvolvimento da atividade leiteira da região sul do Brasil.

Referências

- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; COLDEBELLA, A.; et al.[2008]. **Estimativa da temperatura de globo negro (TGN) a partir da temperatura de bulbo seco (TBS) para o cálculo do índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR)**. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigosecod_artigo>. Acesso em: 5/09/2009.
- AGUIAR, I. S.; BACCARI JR. F. Respostas fisiológicas e produção de leite de vacas holandesas mantidas ao sol e com acesso a sombra natural. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, n.1, p.1-4, 2003.
- ARCARO JR, I.; ARCARO, J.R.P; POZZI, C.R.; et al. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.350-354, 2003.
- BACCARI Jr., F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina, 2001.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 2010. 269p.
- CRUZ, L.V.; ANGRIMANI, D.S.R.; RUI, B.R.; et al. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**. v.1, n.16, 2011.
- FERRO, F.R.A.; NETO, C.C.C.; FILHO, M.R.T.; et al. Efeito do estresse calórico no desempenho reprodutivo de vacas leiteiras. **Revista Verde** , v.5, n.5, p.01-25, 2010.
- MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JR, H.; PINHEIRO, M. G. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 263-273, 2004.
- MOTA, F. S. **Climatologia zootécnica**. 1.ed. Pelotas: UFPel, 2001. 104p.
- PEGORER, M.F.; VASCONCELOS, J.L.M.; TRINCA, L.A.; et al. Influence of sire and sire breed (Gyr versus Hosltein) on establishment of pregnancy and embryonic loss in lactating Hosltein cows during summer heat stress. **Theriogenology**, v.67, p.692-697, 2007.
- PEREIRA, C.C.J. **Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal**. 1.ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.

- PIRES, M. F. A. **Manejo nutricional para evitar o estresse calórico**, EMBRAPA, Juiz de Fora, MG, p. 1-4, 2006. (Comunicado técnico, 52).
- PIRES, M. F. A.; SILVA JR., J.L.C.; CAMPOS, A.T.; et al. **Zoneamento da Região Sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade**. EMBRAPA, Juiz de Fora, MG, p.1-21, 2003 (Boletim de Pesquisa, 13).
- ROBINSON, N. E.; Homeostase, Termorregulação. In: CUNNINGHAM, J. G.; **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 3.ed. p. 550-561. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2004.
- SAEG. **SAEG**: Sistema de análise estatística e genética, versão 9.1. Viçosa, 2007.
- SCHUTZ, K. E.; ROGERS, A. R.; COX, N. R.; et al. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behavior, and body temperature. **Applied Animal Behaviour Science**, v.116, n.1, p.28-34, 2009.
- SEDYAMA, G.C.; MELO JR. J.C.; SANTOS, A.R.; et al. Modelo para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual georreferenciados para o Estado do Espírito Santo. In: CONBEA, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001. p.43.
- SILVA, R.G. **Biofísica ambiental**. Os animais e seu ambiente. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2008, 393p.
- STARLING, J.M.C.; SILVA, R.G.; CERON-MUÑOZ, M.; et al. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2070-2077, 2002.
- TURCO, S.H.N.; SILVA, T.G.F.; SANTOS, L.F.C.; et al. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado da Bahia. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.20-27, 2006.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**. Versão 9.1. Viçosa, 2007.
- WEST, J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.6, p.2131-2144, 2003.

VI – Apêndices

Tabela 1A. Relação das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-DF) dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Estado	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Paraná	Campo Mourão	24°03'S	52°22'W	616,40
Paraná	Castro	24°47'S	50°00'W	1008,80
Paraná	Curitiba	25°26'S	49°16'W	923,50
Paraná	Londrina	23°19'S	51°08'W	566,00
Paraná	Maringá	23°24'S	51°55'W	542,00
Paraná	Paranaguá	25°32'S	48°31'W	4,50
Santa Catarina	Campos Novos	27°23'S	51°12'W	946,67
Santa Catarina	Chapecó	27°07'S	052°37'W	679,01
Santa Catarina	Florianópolis	27°35'S	48°34'W	1,84
Santa Catarina	Indaial	26°54'S	49°13'W	86,13
Santa Catarina	Joaçaba	27°10'S	051°33'W	776,00
Santa Catarina	Lages	27°49'S	050°20'W	936,83
Santa Catarina	São Joaquim	28°18'S	049°56'W	1415,00
Santa Catarina	Urussanga	28°31'S	049°19'W	48,17
Rio Grande do Sul	Bagé	31°20'S	54°06'W	242,31
Rio Grande do Sul	Bento Gonçalves	29°09'S	51°31'W	640,00
Rio Grande do Sul	Bom Jesus	28°40'S	50°26'W	1047,50
Rio Grande do Sul	Cambara do Sul	29°03'S	50°08'W	905,00
Rio Grande do Sul	Campo Bom	29°41'S	51°03'W	25,80
Rio Grande do Sul	Caxias do Sul	29°10'S	51°12'W	759,60
Rio Grande do Sul	Cruz Alta	28°38'S	53°36'W	472,50
Rio Grande do Sul	Encruzilhada do Sul	30°32'S	52°31'W	427,75
Rio Grande do Sul	Ibiruba	28°39'S	53°07'W	394,70
Rio Grande do Sul	Irai	27°11'S	53°14'W	247,10
Rio Grande do Sul	Lagoa Vermelha	28°13'S	51°30'W	840,00
Rio Grande do Sul	Passo Fundo	28°13'S	52°24'W	684,05
Rio Grande do Sul	Pelotas	31°47'S	52°25'W	13,00
Rio Grande do Sul	Porto Alegre	30°03'S	51°10'W	46,97
Rio Grande do Sul	Rio Grande	32°02'S	52°06'W	2,46
Rio Grande do Sul	Santa Maria	29°42'S	53°42'W	95,00

Rio Grande do Sul	Santa Vitória do Palmar	33°31'S	53°21'W	24,01
Rio Grande do Sul	Santana do Livramento	30°50'S	55°36'W	328,00
Rio Grande do Sul	São Luiz Gonzaga	28°24'S	55°01'W	245,11
Rio Grande do Sul	Teutonia	29°27'S	51°48'W	63,22
Rio Grande do Sul	Torres	29°21'S	49°43'W	4,66
Rio Grande do Sul	Triunfo	29°52'S	51°23'W	42,50
Rio Grande do Sul	Uruguaiana	29°45'S	57°05'W	62,31

Tabela 2A. Relação das estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) do estado do Paraná.

Estado	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Paraná	Antonina	25°13'S	48°48'W	60
Paraná	Apucarana	23°30'S	51°32'W	746
Paraná	Bandeirante	23°06'S	50°21'W	440
Paraná	Bela Vista do Paraíso	22°57'S	51°12'W	600
Paraná	Cambará	23°00'S	50°02'W	450
Paraná	Cascavel	24°53'S	53°33'W	660
Paraná	Cerro Azul	23°49'S	49°15'W	352
Paraná	Cianorte	26°40'S	52°35'W	530
Paraná	Clevelândia	26°25'S	52°21'W	930
Paraná	Francisco Beltrão	26°05'S	53°04'W	650
Paraná	Guarapuava	25°21'S	51°30'W	1058
Paraná	Guaraqueçaba	25°16'S	48°32'W	40
Paraná	Ibiporã	23°16'S	51°01'W	484
Paraná	Joaquim Távora	23°30'S	49°57'W	512
Paraná	Laranjeiras do Sul	25°25'S	52°25'W	880
Paraná	Londrina	23°22'S	51°10'W	585
Paraná	Marilândia do Sul	23°54'S	51°13'W	1020
Paraná	Maringá	23°25'S	51°57'W	542
Paraná	Morretes	25°30'S	48°19'W	59
Paraná	Nova Cantu	24°40'S	52°34'W	540
Paraná	Palmas	26°29'S	51°59'W	1100
Paraná	Palotina	24°18'S	53°55'W	310
Paraná	Planalto	25°42'S	53°47'W	400
Paraná	Piraquara	25°25'S	49°08'W	930
Paraná	Ponta Grossa	25°13'S	50°01'W	880
Paraná	Paranavaí	23°05'S	52°26'W	480
Paraná	Pato Branco	26°07'S	52°41'W	700
Paraná	Quedas do Iguaçu	25°31'S	53°01'W	513
Paraná	São Miguel do Iguaçu	25°26'S	54°22'W	260
Paraná	Teixeira Sorares	25°27'S	50°35'W	893

Paraná	Telemaco Borba	24°20'S	50°37'W	768
Paraná	Umuarama	23°44'S	50°35'W	893

Tabela 3A. Parâmetros das equações de regressão para Temperatura do ar (°C).

Mês	a	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Janeiro	19,02543	0,47339	-0,38275	-0,00528	0,95
Fevereiro	27,66131	0,55034	-0,25199	-0,00538	0,95
Março	32,37717	0,60326	-0,17875	-0,00526	0,94
Abril	39,92274	0,75910	-0,06324	-0,00517	0,94
Mai	40,21974	0,68028	0,06130	-0,00528	0,93
Junho	41,58411	0,77499	0,06206	-0,00421	0,89
Julho	41,65016	0,79214	0,07496	-0,00431	0,87
Agosto	38,51202	0,89500	-0,06817	-0,00387	0,91
Setembro	37,08707	0,93941	-0,14401	-0,00451	0,89
Outubro	29,70550	0,88964	-0,31707	-0,00441	0,91
Novembro	26,52309	0,77549	-0,35047	-0,00482	0,94
Dezembro	22,38605	0,65589	-0,39712	-0,00501	0,93

Tabela 4A. Parâmetros das equações de regressão para Pressão parcial de vapor (kPa).

Mês	a	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Janeiro	4,84452	0,07201	0,00795	-0,00065	0,94
Fevereiro	5,10406	0,06806	0,01541	-0,00065	0,93
Março	4,97469	0,05976	0,01799	-0,00065	0,92
Abril	5,24782	0,07057	0,02359	-0,00058	0,93
Mai	4,31362	0,05106	0,02385	-0,00050	0,93
Junho	4,07631	0,05514	0,01864	-0,00042	0,93
Julho	4,12542	0,05465	0,02255	-0,00041	0,91
Agosto	4,36265	0,05683	0,02440	-0,00043	0,94
Setembro	4,39027	0,05976	0,02116	-0,00043	0,90
Outubro	4,18813	0,07663	0,00231	-0,00049	0,91
Novembro	4,75262	0,07268	0,01265	-0,00057	0,90
Dezembro	4,77474	0,07279	0,00945	-0,00061	0,93

Tabela 5A. Parâmetros das equações de regressão para Temperatura do globo negro (°C).

Mês	a	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Janeiro	21,25808	0,77846	-0,62878	-0,00865	0,95
Fevereiro	36,01293	0,90328	-0,40156	-0,00877	0,96
Março	43,86408	0,98575	-0,27624	-0,00850	0,94
Abril	54,72146	1,18243	-0,08268	-0,00791	0,94
Mai	52,38095	0,96825	0,10685	-0,00741	0,93
Junho	52,85836	1,08423	0,09000	-0,00582	0,89
Julho	51,76628	1,07515	0,10360	-0,00578	0,86
Agosto	48,90807	1,27197	-0,09653	-0,00540	0,90
Setembro	47,41786	1,36217	-0,20962	-0,00634	0,89
Outubro	38,09605	1,37497	-0,48538	-0,00666	0,91
Novembro	33,67605	1,23030	-0,54696	-0,00750	0,94
Dezembro	26,88823	1,06709	-0,64264	-0,00806	0,93

Tabela 6A. Parâmetros das equações de regressão para Velocidade do vento (m.s⁻¹).

Mês	a	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Janeiro	-2,54939	-0,19459	0,01601	-0,00004	0,25
Fevereiro	-1,30067	-0,18034	0,03366	-0,00011	0,25
Março	-2,29704	-0,14798	-0,00105	-0,00004	0,20
Abril	-2,53603	-0,11865	-0,01825	0,00008	0,16
Mai	-3,45885	-0,14438	-0,02139	0,00023	0,22
Junho	-5,01384	-0,13221	-0,05638	0,00030	0,22
Julho	-5,39633	-0,14247	-0,06032	0,00038	0,23
Agosto	-5,68333	-0,19033	-0,04470	0,00035	0,24
Setembro	-5,85213	-0,19122	-0,05267	0,00022	0,23
Outubro	-4,23334	-0,19368	-0,02114	-0,00005	0,24
Novembro	-2,36450	-0,18621	0,01095	-0,00005	0,21
Dezembro	-1,43358	-0,19033	0,03326	-0,00007	0,23

Tabela 7A. Parâmetros das equações de regressão para Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}).

Mês	a	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Janeiro	27,47111	0,81617	-0,63685	-0,00906	0,95
Fevereiro	42,44183	0,94666	-0,40832	-0,00922	0,96
Março	50,66011	1,02679	-0,27495	-0,00903	0,94
Abril	62,77851	1,24704	-0,06632	-0,00856	0,94
Mai	60,50019	1,06337	0,11676	-0,00826	0,93
Junho	62,19444	1,17711	0,12786	-0,00640	0,88
Julho	60,05840	1,21742	0,09924	-0,00657	0,87
Agosto	56,99550	1,39211	-0,09743	-0,00606	0,91
Setembro	55,93610	1,46903	-0,19944	-0,00712	0,88
Outubro	44,73141	1,45705	-0,50339	-0,00718	0,91
Novembro	40,31377	1,29559	-0,55847	-0,00805	0,94
Dezembro	33,44121	1,11306	-0,64774	-0,00856	0,94

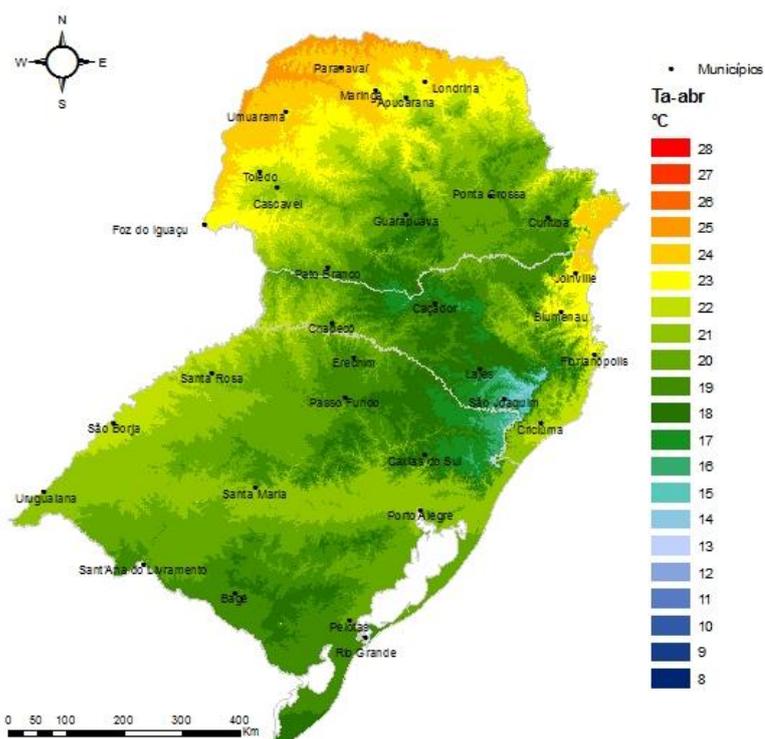


Figura 1A. Distribuição espacial da temperatura do ar (Ta) para o mês de abril para a região sul do Brasil.

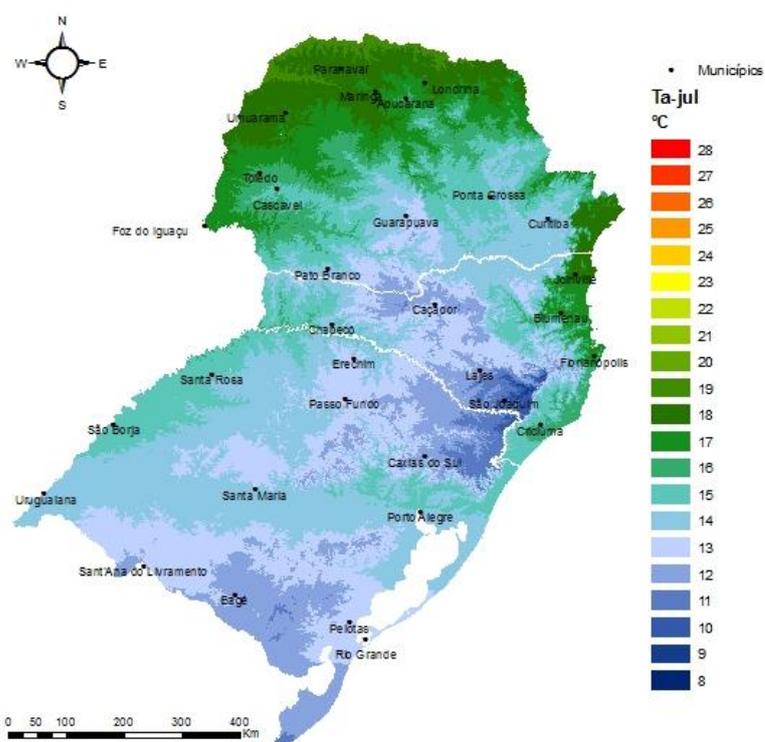


Figura 2A. Distribuição espacial da temperatura do ar (Ta) para o mês de julho para a região sul do Brasil.

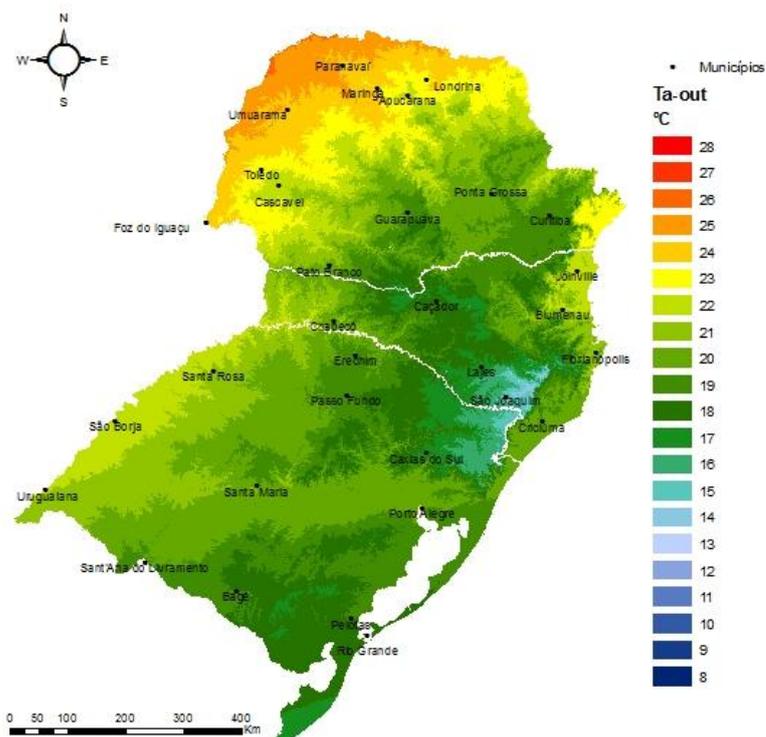


Figura 3A. Distribuição espacial da temperatura do ar (T_a) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.

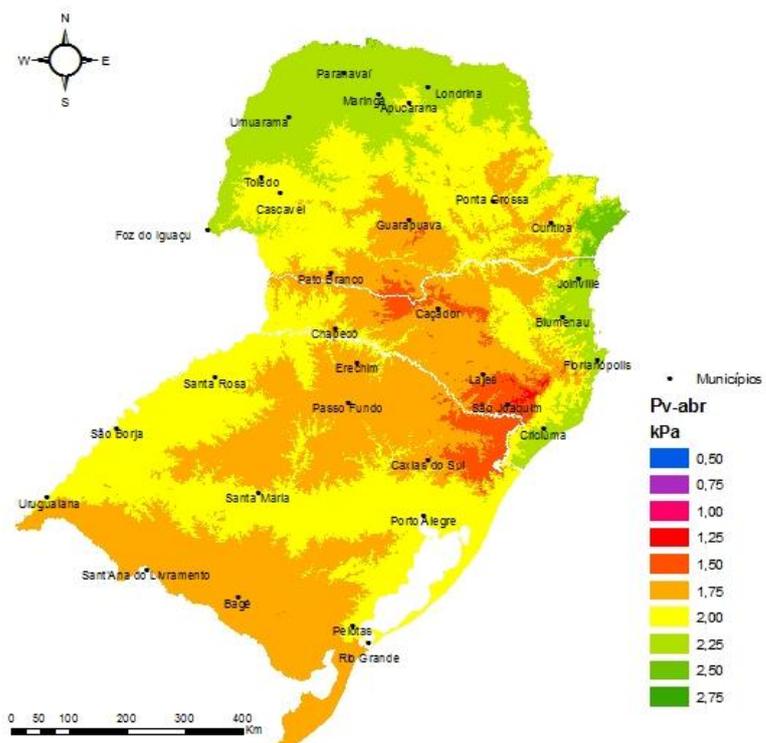


Figura 4A. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (P_v) para o mês de abril para a região sul do Brasil.

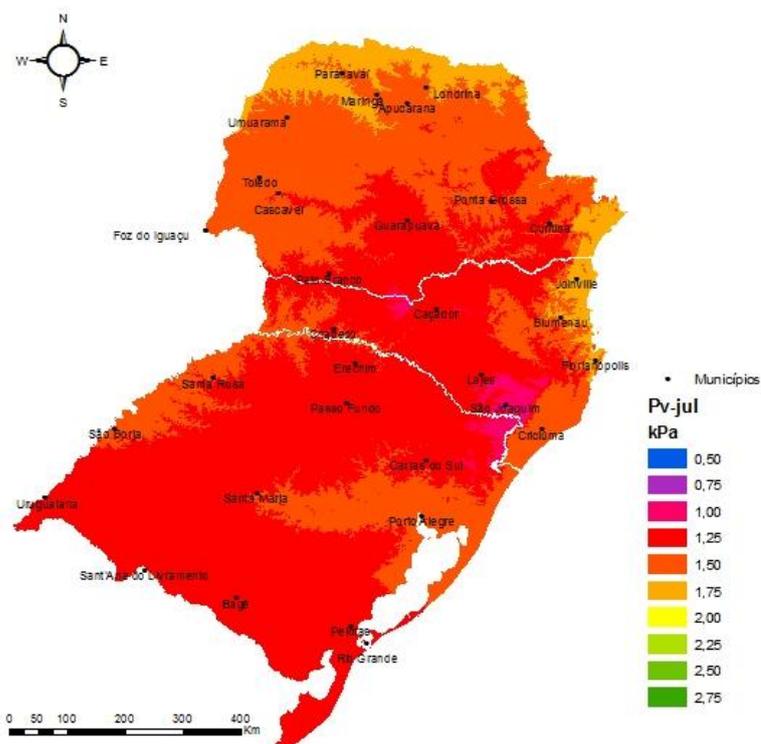


Figura 5A. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (Pv) para o mês de julho para a região sul do Brasil.

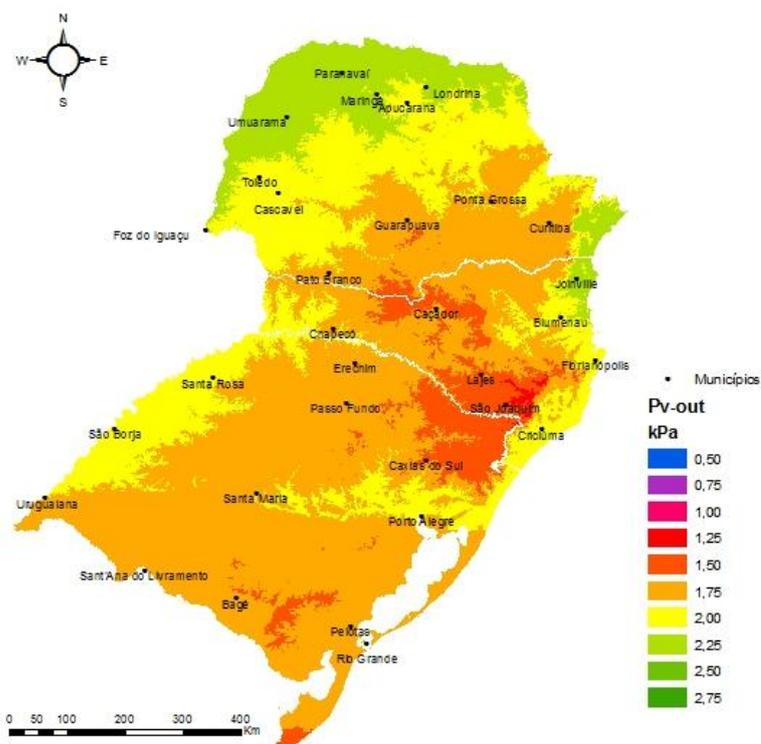


Figura 6A. Distribuição espacial da pressão parcial de vapor (Pv) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.

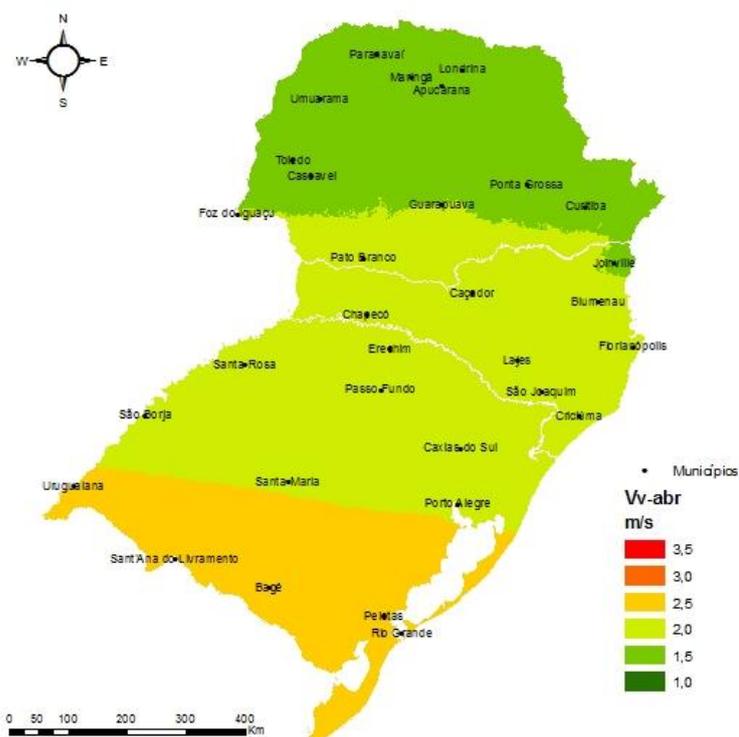


Figura 7A. Distribuição espacial da velocidade do vento (Vv) para o mês de abril para a região sul do Brasil.

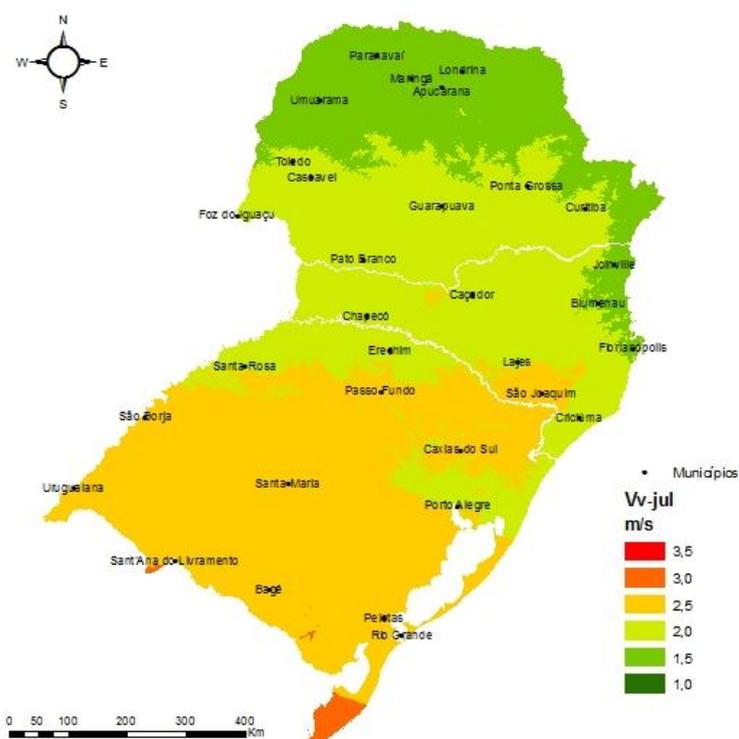


Figura 8A. Distribuição espacial da velocidade do vento (Vv) para o mês de julho para a região sul do Brasil.

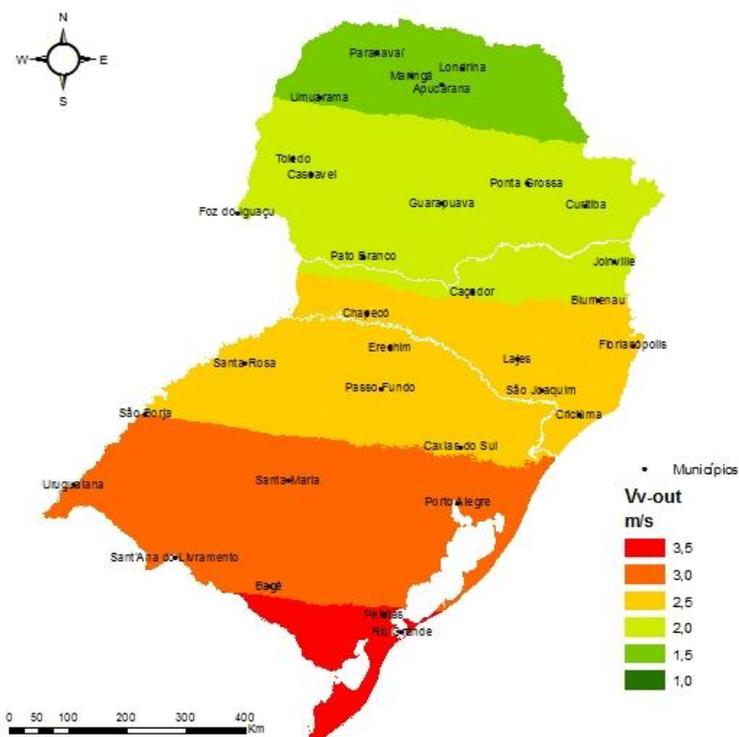


Figura 9A. Distribuição espacial da velocidade do vento (Vv) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.

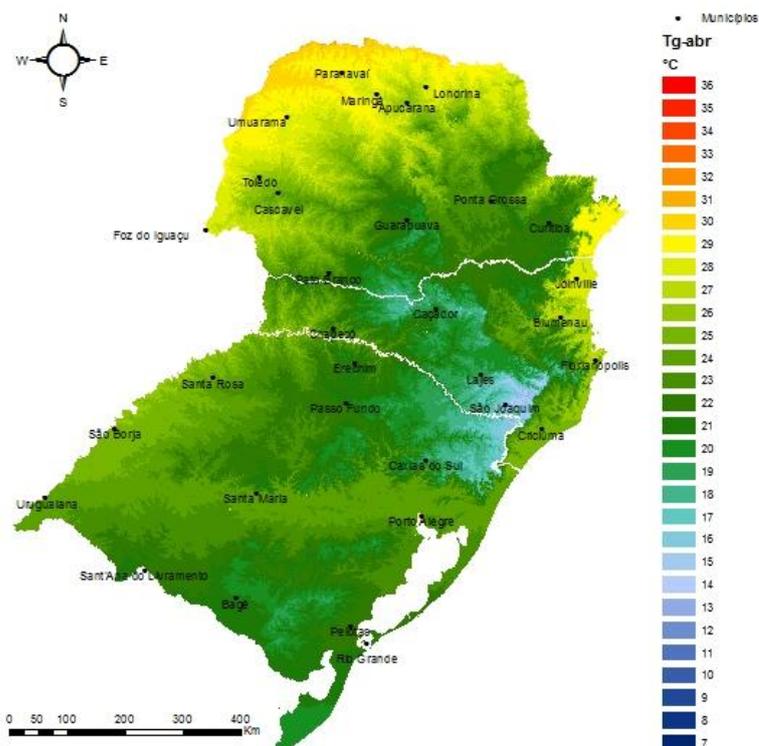


Figura 10A. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (Tg) para o mês de abril para a região sul do Brasil.

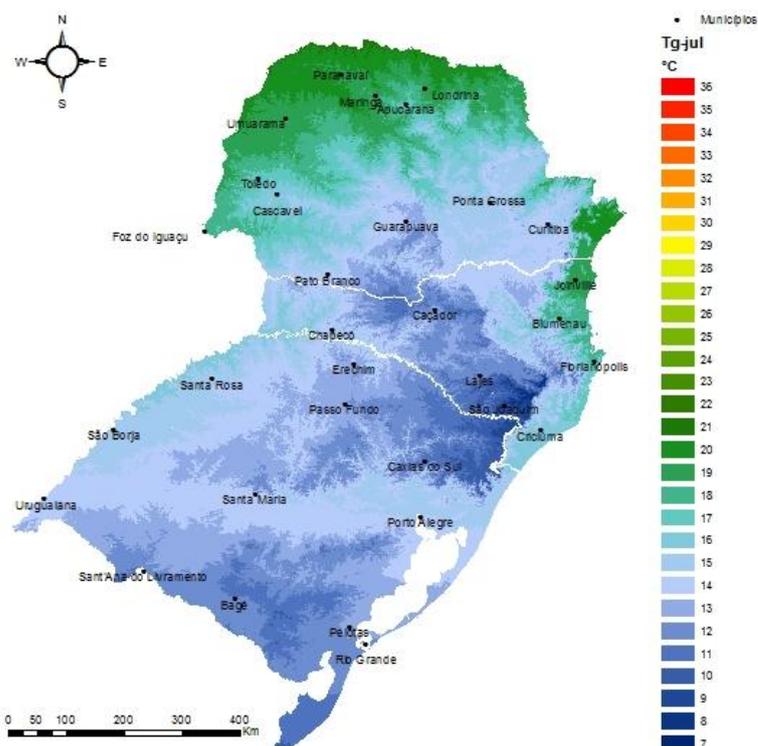


Figura 11A. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (Tg) para o mês de julho para a região sul do Brasil.

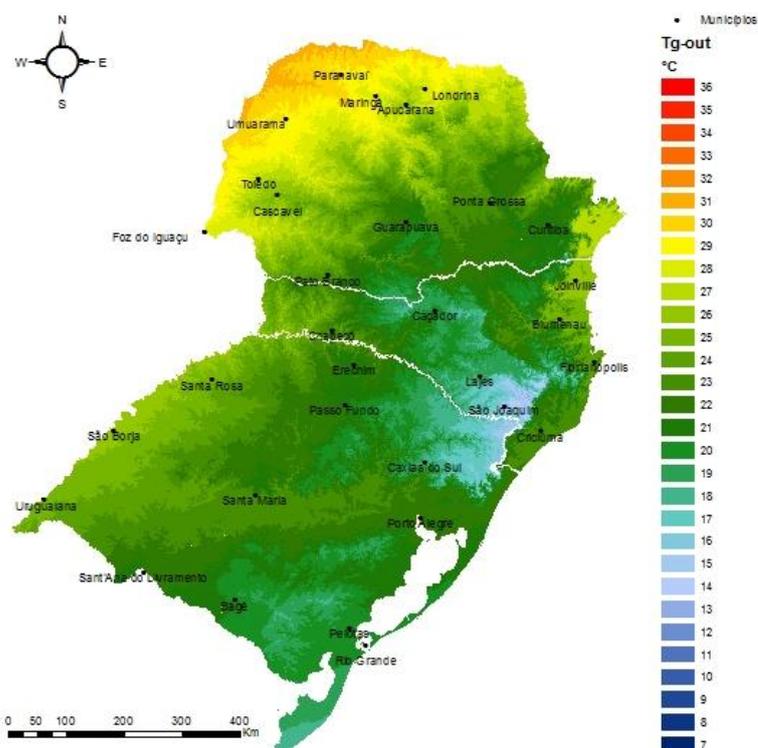


Figura 12A. Distribuição espacial da temperatura do globo negro (Tg) para o mês de outubro para a região sul do Brasil.

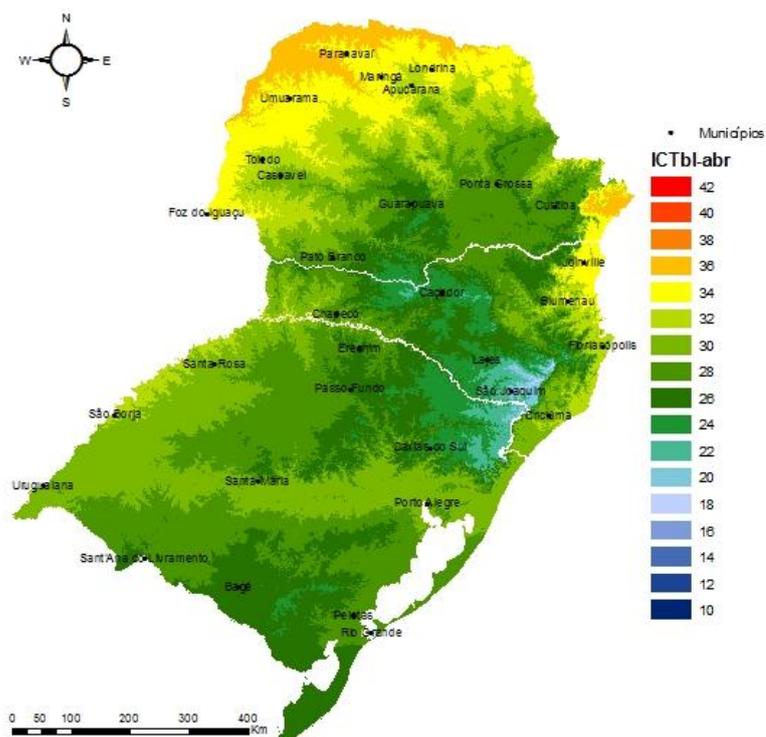


Figura 13A. Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de abril para a região sul do Brasil.

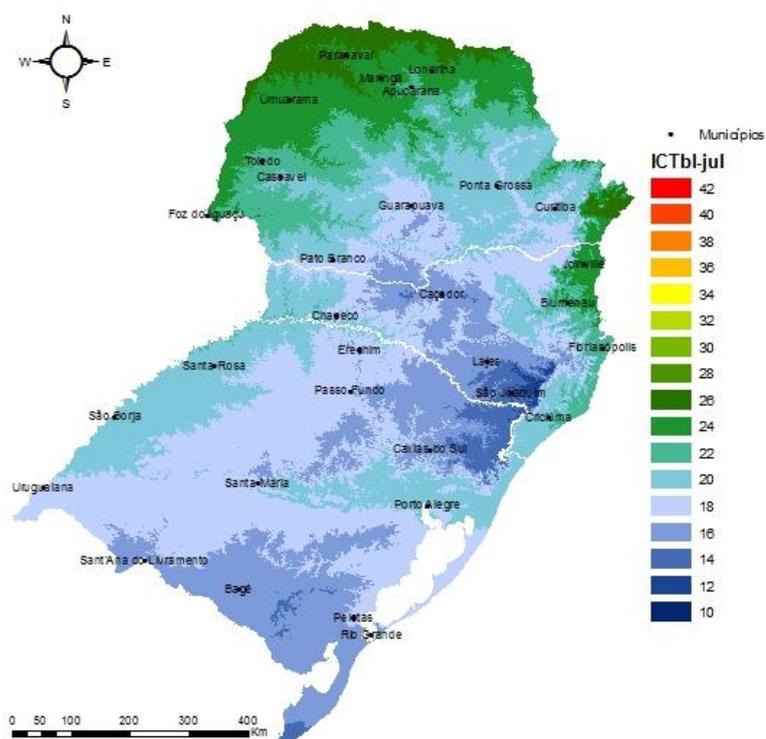


Figura 14A. Zoneamento bioclimático para bovinos leiteiros, baseado no índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICT_{bl}) referente ao mês de julho para a região sul do Brasil.

