

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS**

**DEFINIÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE CALÓRICO EM VACAS LEITEIRAS
NO RIO GRANDE DO SUL: RELAÇÕES ENTRE O METABOLISMO DA
VACA E A PRODUÇÃO E A QUALIDADE DO LEITE**

ALEJANDRA MARIA BARRERA GARCIA

Porto Alegre, 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS.

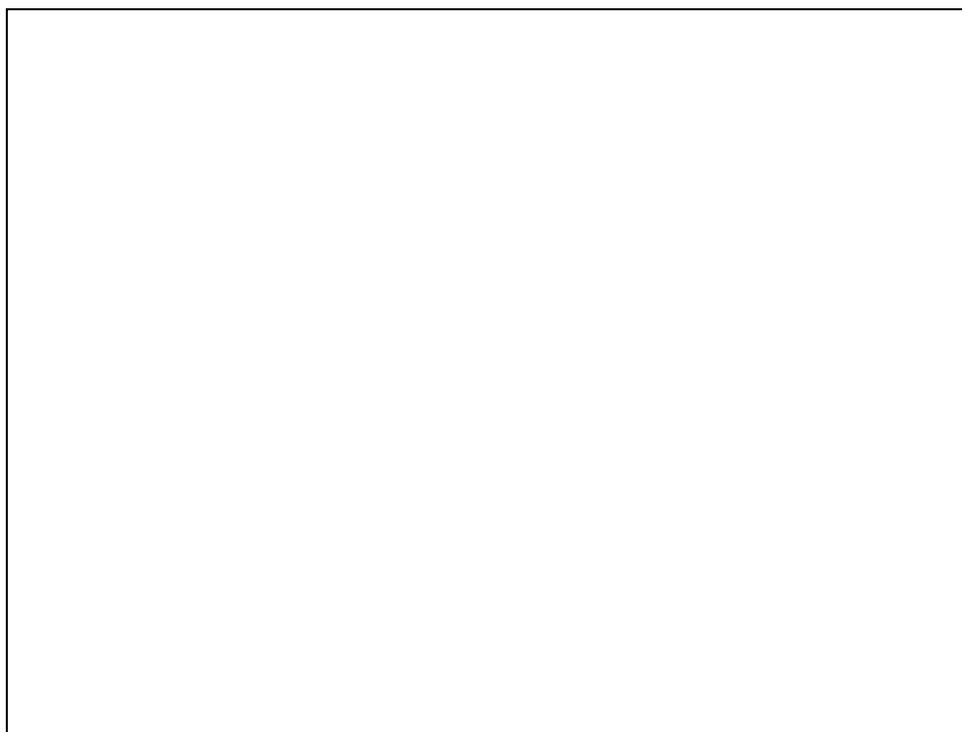
DEFINIÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE CALÓRICO EM VACAS LEITEIRAS NO
RIO GRANDE DO SUL: RELAÇÕES ENTRE O METABOLISMO DA VACA E A
PRODUÇÃO E A QUALIDADE DO LEITE

Autor: Alejandra Maria Barrera Garcia

Tese apresentada como requisito parcial para
a obtenção do grau de Doutor em Ciências
Veterinárias na área de Patologia Clínica.

Orientador: Félix H. Diaz González.

Porto Alegre, 2014



Catálogo na fonte preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Veterinária da UFRGS

Alejandra Maria Barrera Garcia

**DEFINIÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE CALÓRICO EM VACAS LEITEIRAS
NO RIO GRANDE DO SUL: RELAÇÕES ENTRE O METABOLISMO DA
VACA E A PRODUÇÃO E A QUALIDADE DO LEITE**

Aprovada em 28 de abril de 2014

Félix H. D. González
Orientador e Presidente Comissão

Marcelo Cecim (Universidade Federal de Santa Maria)
Membro da Comissão

Vivian Fisher (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)
Membro da Comissão

Felipe Cardoso de Cardoso (Universidade de Illinois)
Membro da Comissão

Dedico este trabalho

Ao homem mais importante da minha vida, meu Pai, quem me deu a melhor herança
que um ser humano pode receber: educação.

A minha mãe do coração, Elsita, por ter tanto amor para meu Pai, minha irmã e eu.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Félix H. González pela oportunidade, confiança, paciência e amizade, sem sua ajuda este trabalho não estaria culminado, muito obrigada.

Sem dúvida os maiores agradecimentos serão sempre para o meu pai Gonzalo e sua esposa Elsita, devo a vocês tudo que eu sou, lhes agradeço todos os esforços por fazer realidade meu maior sonho, pelo apoio incondicional, por ensinar-me que não existem metas impossíveis de lograr, e que todos nossos anseios são possíveis de alcançar.. As minhas tias Gladys, Alicia e Rosita, que sempre me deram forças para não desfalecer. Muito obrigada amada família pelo seu apoio constante apesar da distância, sem vocês eu não teria chegado até aqui.

A Diego Thedy, Amanda Martinez, Eliana Florentini e Natalia, agradeço as suas críticas, ajuda incondicional na coleta do material e desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas Felipe Cardoso e Carlos Bondan pela ajuda, colaboração e conhecimentos passados desinteressadamente.

Ao Senhor João Amantino pela confiança e oportunidade que nos ofereceu na execução do experimento na sua propriedade, possibilitando a realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias (LACVET) pelas horas desinteressadas de trabalho, principalmente à Professora Stella.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade.

Aos meus eternos amigos, Pedro, Ivan e Diego, que apesar da distância estão sempre presentes em minha vida.

A Isabella, Federico, Pablito, Marcos e Ernesto, pela companhia e amor incondicional.

A Deus por brindar-me a oportunidade de escolher esta maravilhosa profissão.

Finalmente a Ramón Andrés quem foi minha fonte de inspiração, por quem iniciou este grande sono, e mesmo que já não esteja ao meu lado, sempre me acompanha.

Muito obrigada!!!!

“O veterinário que confia só no laboratório para seus diagnósticos carece de experiência, e quem diz não precisar do laboratório carece de conhecimentos”

(Wittwer e Böhmwald)

**DEFINIÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE CALÓRICO EM VACAS LEITEIRAS
NO RIO GRANDE DO SUL: RELAÇÕES ENTRE O METABOLISMO DA
VACA E A PRODUÇÃO E A QUALIDADE DO LEITE**

Autor: Alejandra M. Barrera García.

Orientador: Félix Hilario Diaz González.

RESUMO

O estresse calórico em gado leiteiro especializado torna-se um fator limitante para a produção de leite no estado do Rio Grande do Sul durante os meses de maior índice temperatura-umidade. O impacto fisiológico sobre o animal tem repercussão não somente sobre o metabolismo animal, mas também na quantidade e na qualidade do leite produzido. Não existem estudos prévios sobre o grau de impacto que o estresse por calor possa causar em gado da raça Holandesa no Rio Grande do Sul com enfoque no metabolismo e na qualidade do leite. O presente projeto estudou as alterações que o estresse calórico ocasiona em vacas leiteiras especializadas sobre indicadores clínicos, produtivos e metabólicos. Um total de 450 observações foram realizadas durante dois anos consecutivos em uma fazenda leiteira de alta produção da região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. O grau de estresse calórico foi considerado quando o índice temperatura-umidade (THI) ficou acima de 80. O estresse calórico foi evidente sobre os indicadores clínicos (temperatura corporal e frequência respiratória) e causou redução de 17% da produção de leite, bem como diminuição na quantidade de lactose e aumento na CCS, porém sem afetar o teor de gordura nem de proteína. Os indicadores metabólicos mais afetados foram proteínas totais, albumina e ureia, com respostas compatíveis com grau de desidratação leve, glicose com aumento atribuído à maior secreção de cortisol, e colesterol com aumento atribuído à menor secreção de tiroxina, em animais em estresse por calor. Lactato foi menor em animais estressados, sendo seu mecanismo objeto de futuros estudos. Ficou evidente uma condição de alcalose respiratória e a resposta compensatória de acidose metabólica. Conclui-se que o estresse calórico nos animais estudados repercutiu em mudanças clínicas, produtivas, metabólicas e ácido-básicas.

Palavras-chave: vacas leiteiras, estresse calórico, metabolismo, qualidade do leite..

CHARACTERIZATION OF HEAT STRESS IN HOLSTEIN COWS IN RIO GRANDE DO SUL: RELATIONSHIP BETWEEN COW'S METABOLISM AND MILK YIELD AND QUALITY.

Abstract

Heat stress is a limiting factor for milk production in high yielding dairy cows in Rio Grande do Sul (Brazil) during the months with the highest temperature-humidity index (THI). The physiological impact caused by high THI has not only consequences in the animal's metabolism, but also in the animal's milk yield and milk composition (quality). To our knowledge, there are no previous studies that related the impact of heat stress on metabolism and milk composition of high yielding Holstein cows in RG. The objective of the present study was to evaluate the effects of heat stress on clinical, productive, and metabolic parameters in high yielding dairy cows. A total of 450 observations were taken during 2 consecutive years in a commercial dairy farm in the RG's plateau region. Heat stress was characterized as a THI greater than 80. Clinical parameters (rectal temperature and respiratory frequency) was clearly affected by heat stress as well as reduction of milk yield (17%), milk lactose, and increased milk somatic cells count. However, milk fat and milk protein were not affected by heat stress. The metabolic parameters that were greatly affected by heat stressed Holstein cows were total protein, albumin, and blood urea concentrations corresponding to cow's slight degree of dehydration; glucose concentration was increased and associated with a higher secretion of cortisol; and cholesterol concentration was increased due to lower secretion of tiroxine. Blood lactate concentration was lower in heat stressed animals when compared with non-stressed animals but the specific mechanism is still to be determined. Therefore, heat stressed cows evidently showed a state of respiratory alkalosis that was compensated by a state of metabolic acidosis. In conclusion, cows that experienced heat stress in the present study had altered clinical, productive, metabolic and acid-base parameters when compared with non-stressed cows.

Keywords: dairy cows, heat stress, THI, metabolism, milk quality.

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1	Valores médios e desvio padrão de indicadores clínicos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul	16
Tabela 2	Valores médios e desvio padrão de indicadores produtivos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul	17
Tabela 3	Valores médios e desvio padrão de indicadores metabólicos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul	20
Tabela 4	Valores médios e desvio padrão de indicadores gasométricos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul	22

INDICE		Página
1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
	Fisiologia da termorregulação e sua relação com o estresse térmico por calor	4
	Zona de conforto térmico ou termoneutral	6
	Índice temperatura umidade (ITU)	7
	Respostas fisiológicas ao estresse por calor	8
4	RESULTADOS (Artigo)	10
	RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE TEMPERATURA-UMIDADE E PARÂMETROS METABÓLICOS E LÁCTEOS EM VACAS LEITEIRAS NO RIO GRANDE DO SUL	10
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	25

INTRODUÇÃO

Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2013), A produção mundial de leite atingiu 727 milhões de toneladas, incluindo não somente o leite de vaca, mas também de outras espécies que vem tomando força no mercado como o de búfala, camela, cabra e ovelha. O leite de vaca sozinho respondeu por 606,7 milhões de toneladas, o que representa incremento de apenas 1,5% em relação a 2010, sendo que nesse mesmo ano, a produção mundial de leite de vaca foi de aproximadamente 599 milhões de toneladas (FAO, 2012).

Na década de 1990 a 2010, a produção mundial de leite de vaca teve uma taxa crescimento de 5,92% ao ano. Em 2009, o Brasil produziu 29,1 bilhões de litros de leite, com crescimento de 5,5% em relação ao ano anterior. A produção brasileira de leite cresceu cerca de 4,5%, passando de 30,7 bilhões de litros em 2010 para 32,1 bilhões de litros em 2011. É o que mostram os resultados da Pesquisa da Pecuária Municipal, divulgados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 2012.

No ano de 2010 o Brasil se colocou na quinta posição no ranking internacional com 31.667,600 toneladas de volume de leite produzido, participando com 5,3% da produção mundial. Entretanto, a produtividade do rebanho é pequena, 1.381 litros por vaca ordenhada/ano. Esta cifra indica que a produção de leite do país é proveniente, em sua maior parte, de sistemas de produção extensivos. Em 10 anos (2000-2010), a produção brasileira aumentou 40%, evoluiu de 19,767 bilhões para 30,715 bilhões de litros. O número de vacas ordenhadas, por sua vez, passou de 17,885 para 22,925, o que demonstra aumento de produtividade (FAO, 2012).

Em 2010, Minas Gerais continua sendo o maior produtor de leite do país, com 27% (8.388,039 litros), seguido pelo Rio Grande do Sul, com 12% (3.633,834 litros), Paraná, 12% (3.595,775 litros), Goiás, 10% (3.193,731 litros) e Santa Catarina, 8% (2.381,130 litros) (IBGE, 2012). Nesse mesmo ano o estado do Rio Grande do Sul se tornou o segundo maior produtor nacional de leite. Realizando um comparativo numérico do início da série (2000) com os do final (2010), verifica-se que o rebanho de vacas leiteiras aumentou 28,38%. Entretanto, a taxa geométrica de crescimento ajustada da pecuária de corte é negativa (-0,06% ao ano) e indica que a atividade ficou próximo da estagnação, com leve aumento no plantel de animais nos últimos três anos. Em relação ao rebanho leiteiro, constata-se que a taxa é de 2,58% ao ano, o que mostra uma importante expansão no segmento, o que justifica o estudo, ao sinalizar que a atividade leiteira está tendo prioridade sobre a criação de gado de corte.

A atividade pecuária leiteira gaúcha se localiza em maior proporção na região Noroeste, com 58,23% das vacas, média de 2008 - 2010. Essa concentração do rebanho ocorre devido a vantagens locais: solo fértil e pastos, boa disponibilidade de água e de mão de obra familiar e clima temperado. Esses fatores atraíram grandes empresas leiteiras, como a Nestlé, Avipal, Embaré, Italac e CCGL, servindo de estímulo para a atividade. No entanto, esse crescimento tem trazido consigo a busca de animais com altos índices de produção, que suportem as demandas do mercado atual.

Para atingir este objetivo, nos últimos 50 anos, têm sido selecionados, através do melhoramento genético, animais de alta produção (SONSTEGARD et al., 2001; CHAGAS et al., 2009), os quais têm sido exigidos metabolicamente para cumprir com as necessidades produtivas atuais; porém, tal seleção tem provocado riscos, aumentando o aparecimento de doenças metabólicas (GOFF; HORST, 1997; BUCKLEY et al., 2000). Isto tem gerado o surgimento de animais muito mais sensíveis as diversas condições que são submetidas, como a temperatura hostil do estado, que apresenta verões muito quentes e invernos muito frios.

A maior parte do território brasileiro se localiza nos trópicos, regiões caracterizadas por temperatura e umidade elevadas, o que leva a modificação dos parâmetros fisiológicos e comportamentais de vacas leiteiras de origem europeia, o que caracteriza o estresse térmico.

O estresse térmico afeta negativamente a performance destes animais, produzindo no somente, queda na produção de leite, como também alteração na sua composição, devido a diminuição da ingestão de alimentos (BYLBY et al, 2009). Nesse contexto, este trabalho aborda as alterações observadas num rebanho leiteiro localizado na região de Passo Fundo, RS, durante o período de maior incidência estresse térmico por calor, devido a sua importância para os produtores de leite.

O trabalho é apresentado na forma de artigo científico onde foram definidas as alterações metabólicas que acometem vacas leiteiras durante os meses mais quentes do ano, e sua repercussão na composição e qualidade do leite.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi estabelecer o grau do estresse térmico em vacas leiteiras da raça Holandesa de alta produção, sob condições de manejo e alimentação tradicionais do Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul, através da determinação do índice de temperatura e umidade (THI) a campo (lotes de pastagem) durante as estações do verão e inverno, sobre indicadores clínicos (temperatura retal e frequência respiratória), indicadores metabólicos (perfil metabólico e perfil gasométrico) e indicadores produtivos (produção e composição do leite), sob condições de manejo e alimentação tradicionais da região.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o índice de temperatura e umidade (THI) a campo (lotes de pastagem).
- Determinar a variação de indicadores bioquímicos do metabolismo e de status ácido-básico no sangue, bem como de parâmetros de qualidade do leite durante as duas estações do ano com extremos de temperatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

FISIOLOGIA DA TERMORREGULAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM O ESTRESSE TERMICO POR CALOR

A temperatura corporal nos mamíferos é mantida dentro de estreitos limites, de forma independente as variações ambientais de temperatura. Para isto, o animal precisa regular a velocidade com que ganha e perde calor (BERNABUCCI et al., 2010). O Estresse pode ser definido como um estado de ameaça à homeostase provocado por um agente estressante fisiológico, psicológico ou ambiental. Condições meio ambientais relacionadas à alta temperatura e umidade que possuem um impacto negativo sobre a produção, saúde, comportamento e reprodução tem sido consideradas como fatores determinantes no desenvolvimento do estresse térmico (BERNABUCCI et al., 2010, WHEELOCK et al., 2010). Considerado como uma manifestação emocional, sem parâmetros fisiopatológicos definidos, porém é considerado como fator desencadeante de diversas patologias (WEST, 2003).

O controle da temperatura em animais homeotermos é realizado através do centro termorregulador localizado no hipotálamo. Estes animais, mantem sua temperatura corporal constante, na presença de variações consideráveis na temperatura ambiental (BERNABUCCI et al., 2010). A temperatura retal dos bovinos pode variar de 38,0 a 39,0°C. Quando o ganho de calor é mais elevado do que a perda, ocorre um aumento da temperatura corporal podendo ocorrer hipertermia. A hipertermia se deve, principalmente, à elevada temperatura ambiente e à intensa radiação solar direta (ROSENBERGER, 1994). A correta função do centro termorregulatório requer um equilíbrio entre a produção e perda de calor, essa faixa é chamada de zona de termoneutralidade (RANDALL et al., 2000). 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).

A zona de termoneutralidade em vacas leiteiras se encontra na faixa entre 5 e 25°C (YOULSEF, 1985; KADZERE et al., 2002) e está estreitamente relacionada a faixa etária, consumo de alimentos, aclimatização, nível de produção, isolamento externo (pelame) do animal, entre outros (AZEVEDO et al., 2005).

A zona de termoneutralidade ou zona de conforto térmico é uma amplitude de variação da temperatura ambiental, dentro da qual os animais apresentam metabolismo mínimo, sem demonstrar qualquer sintoma de desconforto térmico (BLINGH; JOHNSON, 1973). É limitada em ambos os extremos pela temperatura crítica inferior (TCI) e temperatura crítica superior (TCS), respectivamente (SILVA, 2001). Dentro da zona de termoneutralidade a regulação de temperatura é atingida apenas por processos físicos não evaporativos (BLINGH, JOHNSON, 1973). Nestas condições, o gasto de energia para a manutenção do animal ocorre em nível mínimo, não havendo desvio de energia para manter o equilíbrio fisiológico (COSTA, 2007). Quando a temperatura ultrapassa a TCS o organismo entra em estresse térmico por calor. Os quatro principais elementos que atuam sobre a sensação térmica são a temperatura do ar, radiação térmica, umidade e velocidade do ar; entretanto, índices de conforto térmico combinando dois ou mais desses elementos têm sido ultimamente utilizados para avaliar o impacto ambiental sobre os animais, pois podem descrever mais precisamente os efeitos do ambiente sobre a habilidade do animal em dissipar calor (WEST, 1999).

A produção de calor endógeno é independente e está estreitamente relacionada aos processos metabólicos exercidos pelos diferentes órgãos e a movimentação dos músculos involuntários. A quantidade de calor produzida pelo organismo de um animal depende de vários fatores como, estado metabólico (ex. gestante ou lactante), das reações pelas quais a energia é transformada em calor e da temperatura do meio ambiente no qual se encontra o animal. Os estímulos desencadeadores do estresse agem sobre o sistema nervoso central (SNC) e ativam o eixo hipotálamo-pituitária-hipófise (HPA) e o sistema nervoso simpático (SNS) o que resulta em alterações fisiológicas que alteram o sistema imunológico aumentando a susceptibilidade a processos patológicos. Ambientes quentes e úmidos, frequentemente encontrados em regiões tropicais e subtropicais como é o caso do Brasil, podem tornar-se extremamente desconfortáveis para as vacas leiteiras, principalmente para aquelas em lactação e de alto potencial para produção de leite (FERREIRA et al., 2009).

A queda na produção de leite como resultado de estresse térmico por calor em vacas que se encontram em lactação deve-se de forma primária a queda no consumo de alimento, como também a menor função da glândula tiroide e a alta demanda energética que é necessária para eliminar o calor corporal em excesso (BACCARI, 2001). O controle da temperatura corporal está determinado pelo equilíbrio entre a quantidade de calor perdido para o meio ambiente e o calor que fica retido no corpo (RIBEIRO, 1996).

O estresse por calor não somente interfere no consumo de alimentos, também produz queda na produção e alterações na composição e qualidade de leite, aumento da frequência respiratória e hipertermia (BACCARI, 2001; WEST, 2003). Alterações na temperatura retal e frequência respiratória são os dois parâmetros fisiológicos mais utilizados como medida de conforto animal e adaptabilidade a ambientes adversos (HEMSWORTH et al., 1995). Por outro lado os índices de temperatura e de umidade do ar têm sido adotados para avaliar o impacto ambiental sobre os bovinos, pois podem descrever mais precisamente os efeitos do ambiente sobre a habilidade dos animais em dissipar calor (WEST, 1999).

ZONA DE CONFORTO TERMICO OU TERMONEUTRAL

A zona termoneutral pode ser definida como o rango de temperatura ambiental no qual a produção de calor é mínima e a temperatura retal se mantem dentro dos limites fisiológicos de normalidade, ou seja, a taxa de produção metabólica de calor é mínima e independente da temperatura do ar. Nesta faixa de temperatura os animais aproveitam ao máximo a energia consumida, e o nível de produção é ótimo (KADZERE et al., 2002). A zona de conforto térmico das diferentes espécies apresenta variações em decorrência da idade e o estado fisiológico do animal, dentro desta faixa o animal não experimenta frio nem calor, e seu desempenho é otimizado (FERREIRA et al., 2000).

A zona de conforto térmico varia entre espécies conforme a idade e estado fisiológico, e se encontra delimitada pela temperatura crítica superior (TCS) e pela temperatura crítica inferior (TCI). Existe divergência entre autores sobre quais as faixas destes parâmetros em vacas leiteiras. Para Yousef (1985) a zona de conforto térmico está relacionada ao estado fisiológico e as condições ambientais (KADZERE et al., 2002). Segundo Johnson (1987) a zona de conforto em vacas leiteiras se situa entre os 5 e 20°C, enquanto que para Berman et al. (1985) a temperatura crítica superior se encontra entre 25 e 26°C, e Fuquay (1981) considerou para o gado europeu, o valor de temperatura crítica superior entre 24 a 27°C para animais não adaptados a climas quentes.

Analisando esses dados, é possível constatar que a maior parte território brasileiro apresenta comumente temperaturas superiores a essas por várias horas do dia, a maior parte do ano, sujeitando as vacas leiteiras ao estresse térmico por calor.

INDICE TEMPERATURA UMIDADE (ITU)

O índice temperatura umidade é um indicador de conforto térmico, também conhecido pela sigla em inglês, THI. É utilizado na avaliação do desempenho térmico dos animais, e representa a combinação do efeito da temperatura e umidade do ar sobre o nível de estresse (BOHMANOVA et al., 2007). É o índice de conforto térmico mais utilizado para avaliação de animais (BUFFINGTON et al., 1981), desenvolvido originalmente por Thom (1958) para seres humanos e posteriormente extrapolado para bovinos (Kadzere, 2002).

O ITU pode ser descrito como uma função que leva em consideração valores para as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido, ou a temperatura do ponto de orvalho para a relação com o desempenho dos animais (MARCHETO et al., 2002). De modo geral, segundo Johnson (1980), vacas leiteiras com altas produções são mais suscetíveis devido a sua alta taxa metabólica e começam a experimentar estresse térmico por calor acima de ITU de 72, manifestando queda na produtividade e queda no consumo de alimento de 35% (ARMSTRONG et al., 1993, ARMSTRONG, 1994).

Aguiar e Tanga (2001), pesquisando a produção de leite de vacas Holandesas em função da temperatura do ar e do ITU, concluíram que o estresse pode ser classificado como “brando” quando ITU de 72 ou pouco mais, por um período de quatro horas por dia, durante cinco dias, o que causou uma diminuição na produção nas fases de termoneutralidade seguintes. Por outro lado, a produção de leite aumentou nas fases em que as vacas estiveram sob condições de estresse térmico brando, após permanecerem em condições termoneutrais, revelando uma capacidade de recuperação parcial ou total, sempre e quando as vacas tenham permanecido anteriormente alguns dias em condições de conforto térmico (PORCIONATO et al., 2009).

O mecanismo biológico pelo qual o estresse por calor afeta a produção e reprodução em bovinos leiteiros pode ser explicado pelas respostas que estes animais apresentam. Vacas leiteiras reagem de diferentes formas para diminuir a produção de calor e aumentar sua eliminação ao meio ambiente. Em primeiro lugar procuram a sombra, diminuem o consumo de alimentos, aumentam o consumo de água e, associado a estas respostas, há vasodilatação periférica, menor circulação sanguínea a órgãos internos, aumento da frequência respiratória e sudorese (WEST, 2003). Também há

alteração no sistema endócrino, diminuição da ruminação e absorção de nutrientes, e incremento nos requerimentos de manutenção, que resultam na diminuição de energia e nutrientes disponíveis para a produção (COLLIER et al., 2005).

A queda no consumo de alimentos durante os períodos de estresse por calor em vacas lactantes resulta em um número maior de animais em balanço energético negativo, sendo independente ao estágio de lactação (GOFF, HORST, 1997; DRACKLEY, 1999).

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AO ESTRESSE POR CALOR

Segundo Fuquay (1981) o mecanismo pelo qual vacas leiteiras apresentam queda na produção se deve ao efeito sinérgico da queda no consumo de alimentos e, a alta taxa metabólica que estes animais enfrentam, principalmente, no início da lactação.

As respostas fisiológicas estão determinadas pelo sistema nervoso autônomo. O hipotálamo é o principal centro termorregulatório, através da estimulação hormonal, se encarrega de manter a homeostasia. Este órgão se encarrega de combater os efeitos da temperatura, frente ao calor, responde imediatamente ativando os mecanismos de perda de calor, como vasodilatação periférica e sudorese. Quando o animal é exposto ao frio pode haver uma considerável perda de calor antes que ocorra alteração na temperatura a nível central, no caso, o hipotálamo responde estimulando a produção de hormônio tireotrófico (TSH) por parte da hipófise para secretar tiroxina (T4) que irá se transformar em triiodotironina (T3), sua forma ativa, com o objetivo de estimular a produção endógena de calor. Durante este processo os animais modificam seu comportamento, aumentam o consumo de alimento e a sua atividade física.

No caso de experimentar excesso de temperatura, os bovinos iniciam os processos de perda de calor, experimentando vasodilatação, evaporação, sudorese e ofego. Modificam seu comportamento, permanecem deitados com o objetivo de perder calor por convecção, aumentam a frequência respiratória e diminuem o consumo de alimento. Para Kadzere et al. (2002), estes mecanismos compensatórios demandam energia, o que resulta no aumento da manutenção diária em vacas leiteiras entre 7 e 25%, o que resulta em maior produção de calor.

Outra resposta fisiológica ao estresse térmico por calor está relacionada ao aumento na frequência respiratória, produzindo altas perdas de dióxido de carbono (CO₂), causando diminuição da pressão parcial de CO₂ (PCO₂) levando a queda na

concentração de ácido carbônico (H_2CO_3) e hidrogênio (H^+). Como mecanismo compensatório o organismo tenta manter o equilíbrio acidobásico através do sistema renal, aumentando a excreção de HCO_3^- e reduzindo a excreção de íons H^+ . Estes parâmetros são importantes na avaliação de distúrbios do equilíbrio acidobásico, pois o principal sistema tampão do organismo e o tampão bicarbonato/ácido carbônico ($\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3$).

Outros parâmetros sanguíneos que servem como indicadores da resposta ao estresse térmico estão relacionados a modificações no número e morfologia das células sanguíneas, modificando o hematócrito, leucócitos totais, eritrócitos e valor de hemoglobina. No que se refere a gasometria, o sódio (Na^+), o potássio (K^+) e o cloro (Cl^-) apresentam modificações frente a altas temperaturas. Apresenta-se uma queda nas concentrações de K^+ e Na^+ enquanto a temperatura do meio ambiente aumenta, sendo que o Cl^- aumenta como resposta compensatória.

Em termos de avaliação clínica do estresse térmico por calor tem sido levadas em consideração a temperatura corporal, a frequência respiratória e cardíaca, a salivação, o aumento do fluxo sanguíneo periférico e a sudorese em animais (CARVALHO et al., 1995; CUNNINGHAM, 1999). A temperatura corporal deriva do equilíbrio entre a produção e perda de calor do corpo, isto é, do equilíbrio entre a quantidade de calor produzida no organismo, ou por ele absorvida, e a quantidade liberada para o ambiente (WEST, 2003). A temperatura corporal é um evento biológico de ocorrência periódica, obedecendo a um ritmo ou ciclo circadiano, ou seja, um ciclo que se repete a cada 24 h, com máxima entre 17 h e 19 h e a mínima entre 4 h e 6 h (BACCARI JR, 2001). A capacidade do animal de resistir às condições de estresse calórico tem sido avaliada fisiologicamente por alterações na temperatura retal e frequência respiratória. A temperatura retal normal da vaca leiteira, em termoneutralidade e em repouso, varia entre 38°C e $39,5^\circ\text{C}$ (BACCARI JR., 2001).

Valores de frequência respiratória estabelecidos para avaliar o grau de estresse indicam que vacas com até 60 movimentos por minuto não experimentam sinais de estresse, porém, quando ultrapassam 120 movimentos por minuto, refletem ganho excessivo de calor e, acima de 160 movimentos por minuto indicam estado de emergência onde medidas devem ser tomadas para diminuir o calor excessivo, do contrário o animal pode vir a óbito (WEST, 2003).

4. RESULTADOS

Os resultados deste trabalho serão apresentados na forma de artigo científico.

RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE TEMPERATURA-UMIDADE E PARÂMETROS METABÓLICOS E LÁCTEOS EM VACAS LEITEIRAS NO RIO GRANDE DO SUL

Alejandra Barrera Garcia⁽¹⁾, Felipe Cardoso de Cardoso⁽²⁾, Carlos Bondan⁽³⁾, Diego
Xaxier Thedy⁽⁴⁾ Natália C. Angeli⁽⁵⁾, Félix H. Diaz González⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Veterinária, Departamento de Patologia Clínica Veterinária, Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias, Av. Bento Gonçalves 9090, Porto Alegre, RS 95320-000, Brasil. E-mail: alejandrabarrera.ufrgs@yahoo.com, felixgonzalez.ufrgs@gmail.com, ⁽²⁾ Department of Animal Sciences, 266 ASL, 1207 W. Gregory Dr., University of Illinois, Urbana, IL 61801 USA. E-mail: cardoso2@illinois.edu, ⁽³⁾ Universidade de Passo Fundo (UPF), Departamento de Medicina de Grandes Animais E-mail: cbondan@upf.br, ⁽⁴⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Veterinária, Departamento de Medicina Animal, E-mail: dxthedy@yahoo.com.br. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Veterinária, Departamento de Patologia Clínica Veterinária, Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias, E-mail: na_angeli@hotmail.com.

RESUMO

O estresse calórico em gado leiteiro especializado torna-se um fator limitante para a produção de leite no estado do Rio Grande do Sul durante os meses de maior índice temperatura-umidade. O impacto fisiológico sobre o animal tem repercussão não somente sobre o metabolismo animal, mas também na quantidade e na qualidade do leite produzido. Não existem estudos prévios sobre o grau de impacto que o estresse por calor possa causar em gado da raça Holandesa no Rio Grande do Sul com enfoque no metabolismo e na qualidade do leite. O presente projeto estudou as alterações que o estresse calórico ocasiona em vacas leiteiras especializadas sobre indicadores clínicos, produtivos e metabólicos. Um total de 450 observações foram realizadas durante dois anos consecutivos em uma fazenda leiteira de alta produção da região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. O grau de estresse calórico foi considerado quando o índice temperatura-umidade (THI) ficou acima de 80. O estresse calórico foi evidente sobre os indicadores clínicos (temperatura corporal e frequência respiratória) e causou redução de 17% da produção de leite, bem como diminuição na quantidade de lactose e aumento na CCS, porém sem afetar o teor de gordura nem de proteína. Os indicadores metabólicos mais afetados foram proteínas totais, albumina e ureia, com respostas compatíveis com grau de desidratação leve, glicose com aumento atribuído à maior secreção de cortisol, e colesterol com aumento atribuído à menor secreção de tiroxina, em animais em estresse por calor. Lactato foi menor em animais estressados, sendo seu mecanismo objeto de futuros estudos. Ficou evidente uma condição de alcalose respiratória e a resposta compensatória de acidose metabólica. Conclui-se que o estresse calórico nos animais estudados repercute em mudanças clínicas, produtivas, metabólicas e ácido-básicas.

Palavras-chave: vacas leiteiras, estresse calórico, metabolismo, qualidade do leite.

INTRODUÇÃO

A região Sul do Brasil, caracterizada por ter clima subtropical úmido, tem estações bem definidas com verões quentes e invernos frios. A temperatura ambiental e a umidade relativa atingem valores máximos nos meses de janeiro e fevereiro, quando o gado leiteiro, basicamente de raça Holandesa, sofre estresse por calor. O estresse calórico causa redução na produção e mudanças na composição do leite, em parte devido à menor ingestão de alimentos, mas também por um efeito metabólico direto sobre a glândula mamária (Rhoads et al., 2009). As perdas produtivas observadas em vacas leiteiras por causa do estresse calórico podem ser de 10% ou mais (Head, 1995) e, nos

Estados Unidos, se relatam perdas econômicas por esta causa da ordem de um bilhão de dólares por ano, o que excede as perdas por mastite, principal problema patológico nos rebanhos leiteiros (St. Pierre et al., 2003). Embora não existam estudos sobre as perdas econômicas por estresse calórico no Rio Grande do Sul, estima-se que essas perdas possam chegar a R\$1.000/vaca/ano (Antunes et al. 2009).

O estresse calórico também incide sobre o metabolismo da vaca, mas este enfoque tem sido menos estudado que o impacto sobre a produção e a composição do leite. A abordagem metabólica do problema é necessária para identificar estratégias que permitam melhorar o bem-estar dos animais sob estresse calórico (Abeni et al., 2007).

Entre os principais indicadores que podem ajudar a definir o grau de estresse calórico estão as variáveis climáticas, clínicas e metabólicas. A variável climática mais confiável é o índice temperatura-umidade (THI), estimando-se que valores de THI superiores a 75 constituem estresse leve, THI maior de 80 causa estresse moderado e THI superior a 88 causa estresse severo (Armstrong, 1994). Contudo, os efeitos do estresse calórico dependem do tempo em que o animal está submetido a essas condições climáticas, e nesse sentido cobra importância a presença de temperaturas mais amenas durante a noite, quando ocorre dissipação do calor e estabilização do animal. As variáveis clínicas mais importantes compreendem a temperatura retal (ref. 38,3-38,9°C, considerando estresse temperatura acima de 39,2°C), e a frequência respiratória (ref. 20-30 resp/min, considerando estresse acima de 60 resp/min). As variáveis metabólicas estão representadas pelo perfil metabólico e o perfil gasométrico (ácido-básico).

Nesse contexto, a abordagem dos efeitos do estresse calórico em vacas leiteiras de alta produção devem considerar indicadores climáticos, metabólicos, clínicos e produtivos e a relação entre eles. O objetivo deste trabalho foi estabelecer o grau do estresse térmico em vacas leiteiras da raça Holandesa de alta produção, sob condições de manejo e alimentação tradicionais do Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul através da determinação do índice de temperatura e umidade (THI) a campo (lotes de pastagem) para relacionar com indicadores clínicos (temperatura retal e frequência respiratória), indicadores metabólicos (perfil metabólico e perfil gasométrico) e indicadores produtivos (produção e composição do leite).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma fazenda leiteira do município de Passo Fundo (latitude -28,21, longitude -52,4, altitude 684 m) que possuía 120 vacas da raça Holandesa em ordenha, com uma produção média do rebanho no ano anterior ao experimento de 6.961 L/vaca. A produção média dos rebanhos sob controle leiteiro da região do Passo Fundo foi, nesse ano, de 7.087 L/vaca. Todos os indicadores clínicos, metabólicos e produtivos correspondem a coletas realizadas durante o período experimental de dois meses no verão (janeiro e fevereiro) em dois anos consecutivos e um mês no inverno (agosto), com intervalos de duas semanas. No total foram realizadas oito coletas na estação de verão e uma coleta no inverno.

Um total de 50 vacas multíparas em diferentes estágios da lactação foram acompanhadas ao longo dos diferentes períodos estudados (total de 450 observações). O manejo alimentar foi RTM (ração totalmente misturada), complementada com pastoreio em pastagem de azevém. As vacas estavam semi-confinadas, ficando no estábulo durante as ordenhas e no potreiro o restante do tempo, sendo ordenhadas três vezes ao dia.

As medidas de temperatura ambiental e umidade relativa foram tomadas a campo, onde as vacas pastavam e ficavam a maior parte do tempo. Para determinar o THI foi usada a seguinte equação (McDowell et al., 1979):

$$\text{THI} = 0,8 \cdot \text{TA} + [\text{UR} \cdot (\text{TA} - 14,4)] + 46,4$$

Sendo TA: temperatura do ar (em °C) e UR: umidade relativa (em decimais).

As coletas de sangue foram realizadas mediante venipunção da veia coccígea, utilizando sistema *vacutainer* (BD Brasil), depois da ordenha da manhã, com e sem anticoagulante. Amostras com heparina Li foram utilizadas para a análise gasométrica (Radiometer ABL835) em no máximo uma hora após a coleta (sódio, potássio, lactato, pH, pCO₂, pO₂, bicarbonato, CO₂ total, e excesso de base). As amostras sem anticoagulante permaneceram a temperatura ambiente por uma hora e depois centrifugadas (2.500 rpm por 15 minutos), e o soro extraído e fracionado em três alíquotas de 600 µL conservadas em tubos *ependorf* de 1,5 mL devidamente rotulados, acondicionados e transportados em isopor contendo gelo seco durante o seu transporte

até o laboratório, onde permaneceram armazenadas a -20°C até o momento das análises bioquímicas. Foram analisados os seguintes metabólitos: proteínas totais, albumina, ureia, creatinina, glicose, colesterol, triglicerídeos, beta-hidroxibutirato, e as enzimas AST, GGT e FA, utilizando equipamento semi-automático (Metrolab D-1600) utilizando kits diagnósticos (Randox para BHB e Labtest para os demais). Os valores de globulinas foram obtidos por diferença entre proteína total e albumina. Amostras de urina foram obtidas em copos coletores estéreis mediante indução da micção por massagem perineal, sempre desprezando os primeiros jatos, para medição do pH (potenciômetro digital portátil Hanna modelo HI98127).

Amostras de leite foram retiradas individualmente e acondicionadas em frascos com conservante (bronopol) para serem enviadas ao laboratório, onde se determinou composição química (espectrofotometria infravermelho próximo, Bentley 2000) e contagem de células somáticas (citometria de fluxo, Somacount, Bentley). A produção diária de leite de cada vaca foi registrada no dia da coleta das amostras de sangue.

Os dados foram separados de acordo com os valores de THI assim: THI = 59 (controle: amostras coletadas no inverno, $n= 50$), THI entre 75 e 81 (equivalente a estresse calórico leve, $n= 100$), THI entre 81 e 82 (equivalente a estresse calórico moderado, $n= 150$) e THI entre 83 e 90 (equivalente a estresse calórico severo, $n= 150$). A análise estatística compreendeu análise de variância utilizando o procedimento Mixed do pacote estatístico SAS v 9.2, para conhecer o efeito do THI. Para testar as comparações dos parâmetros entre os grupos foi usado o teste de Tukey. Valores de $P < 0,05$ foram considerados como diferenças significantes entre os dados encontrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos indicadores clínicos são mostrados na Tabela 1, dos indicadores produtivos na Tabela 2, dos indicadores metabólicos na Tabela 3, e dos indicadores acidobásicos na Tabela 4.

INDICADORES CLÍNICOS

Apesar das inúmeras equações disponíveis na literatura para calcular o Índice Temperatura-Umididade (THI), ele é considerado um bom indicador do estresse calórico

em vacas para relacionar com parâmetros fisiológicos (Dikmen & Hansen, 2009). Na comparação entre as três condições ambientais testadas, o valor de THI teve diferença altamente significativa ($p < 0,0001$). Do ponto de vista clínico resultou evidente o efeito do estresse calórico, nas vacas em ambiente de THI acima de 80 (Tabela 1), manifestado pelo aumento da temperatura retal (acima de $39,2^{\circ}\text{C}$) e, mais dramaticamente, pelo aumento da frequência respiratória. Os animais em condições de estresse calórico tiveram temperatura retal e frequência respiratória significativamente superiores às vacas em conforto térmico.

Alterações na temperatura retal e na frequência respiratória são os dois parâmetros fisiológicos mais conhecidos para aferir o conforto animal e a adaptabilidade a ambientes adversos (Ferreira et al., 2009). Frequência respiratória maior de 60 por minuto representa estresse calórico, pois as vacas devem utilizar a evapotranspiração como principal mecanismo de perda de calor corporal (Hemsworth et al., 1995). No entanto, esses mecanismos demandam gasto de energia, resultando no aumento da manutenção diária de bovinos de leite de 7 para 25%, o que resulta também em produção de calor (Kadzere et al., 2002). No experimento, apenas as vacas sem estresse calórico mostraram frequência respiratória abaixo de 60/min, sendo de em torno de 80/min nos animais sob condição de estresse calórico.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão de indicadores clínicos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul

Indicador	THI = 59 (controle)	75 < THI < 81 (leve)	81 < THI < 82 (moderado)	83 < THI < 90 (severo)
N	50	100	150	150
Temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$)	$38,4 \pm 1,3$	$39,3 \pm 3,9$	$39,4 \pm 3,2$	$39,4 \pm 3,2$
Frequência respiratória (/min)	$38,5 \pm 2,5$	$76,1 \pm 12,1$	$79,5 \pm 9,9$	$80,6 \pm 12,7$

Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,5$) entre grupos de estresse calórico.

INDICADORES PRODUTIVOS

A principal alteração reconhecida nas vacas sob estresse calórico é a diminuição da produção de leite, o que resultou evidente nos animais sob estresse severo, mas não nas vacas sob estresse moderado (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão de indicadores produtivos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul

Indicador	THI = 59 (controle)	75 < THI < 81 (leve)	81 < THI < 82 (moderado)	83 < THI < 90 (severo)
N	50	100	150	150
Condição corporal (escala 1-5)	3,7 ± 0,3	3,6 ± 0,5	3,6 ± 0,3	3,4 ± 0,5
Produção de leite (L/vaca/dia)	27,0 ± 9,1	25,4 ± 7,6	24,8 ± 7,6	20,4 ± 7,8
Gordura do leite (%)	3,5 ± 0,9	3,3 ± 3,0	3,3 ± 1,0	3,5 ± 1,1
Proteína do leite (%)	3,4 ± 0,5	3,1 ± 0,5	3,2 ± 0,4	3,3 ± 0,5
Lactose do leite (%)	4,4 ± 0,3	4,4 ± 0,5	4,4 ± 0,3	4,3 ± 0,5
Sólidos totais do leite (%)	12,4 ± 1,0	11,4 ± 1,6	11,9 ± 1,2	12,0 ± 1,7
Células somáticas (10 ³ /mL)	493 ± 636	663 ± 1.180	650 ± 1.128	716 ± 1.066

Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$) entre grupos de estresse calórico.

O fato de as vacas em estresse calórico moderado não ter redução da produção de leite pode ser explicado pelas temperaturas mais amenas durante a noite, que permitem dissipar o calor acumulado durante o dia e estabilizar o animal. O aumento das necessidades de manutenção e a redução do consumo de alimento, que acentuam o balanço energético negativo são elencadas como as principais causas da queda na produção de leite (Bertoni, 1998). Entretanto, Rhoads et al. (2009) consideram que pode existir um mecanismo direto do estresse calórico sobre a glândula mamária que compromete a síntese de leite e O'Brien et al. (2010) consideram que entre 35 a 50% da redução na produção de leite em vacas sob estresse calórico seria explicado pela redução do consumo, sendo o restante da redução explicado por efeito direto do calor em si. Uma possível explicação, segundo esses autores, é a diminuição da secreção de

somatotropina causada pelo estresse calórico. Outra possibilidade seria um aumento da secreção de insulina que levaria a um maior *clearance* de glicose.

São poucas as publicações que relacionem o estresse calórico e a condição corporal em vacas em lactação. No presente experimento foi observada uma diferença significativa entre os três grupos de vacas, sendo maior o escore das vacas sem estresse calórico e menor nas vacas em estresse calórico severo. A perda de escore corporal em vacas sob estresse calórico parece ser progressivo conforme aumenta o calor e provavelmente ocorra em função do menor consumo de alimento.

Houve maior contagem de células somáticas no leite das vacas em estresse calórico severo com relação aos demais grupos. A maior contagem de células somáticas no leite tem sido relatada durante os meses mais quentes por vários autores, bem como a maior incidência de mastite, devido à maior quantidade de patógenos no ambiente (Ostrensky, 1999).

Pode existir também um efeito do calor sobre a secreção dos componentes lácteos. Assim, Rhoads et al. (2009) encontraram que o estresse calórico aumenta a quantidade de gordura no leite, fato que não foi observado no nosso experimento de forma significativa, embora os valores foram superiores nos animais sob estresse calórico. Aumentos de gordura no leite podem estar relacionados com aumento de lipomobilização em casos de balanço energético negativo, como pode ser o caso das vacas sob estresse calórico severo. Porém, os mesmos autores afirmam que a proteína láctea diminuiria em função de menor síntese das enzimas de síntese da caseína. No presente experimento, a proteína láctea não foi alterada pelo estresse calórico, mas a lactose foi menor nas vacas com estresse severo, confirmando o achado por Rhoads et al (2009). A queda na lactose foi compensada pelo aumento da gordura que resultou em valores similares dos sólidos totais no leite. Uma queda na lactose pode estar refletindo um efeito negativo do estresse calórico sobre a atividade do complexo enzimático lactose sintetase, mas isto é um aspecto a ser investigado. Os resultados discutidos aqui sobre composição do leite são contraditórios com os achados por Kadzere et al. (2002), quem observaram queda na gordura, na proteína e nos sólidos totais no leite em vacas sob estresse calórico.

INDICADORES METABÓLICOS

Com relação aos indicadores metabólicos, observou-se aumento na proteína total das vacas sob estresse calórico moderado (Tabela 3), o que pode estar relacionado com uma leve desidratação. No entanto, o melhor indicador proteico de desidratação, a albumina, foi significativamente superior apenas no caso de estresse severo. A albumina pode diminuir em casos de baixo consumo de proteína, como é o caso de animais sob estresse calórico, onde diminui a ingestão de alimentos. Assim, nessas condições, cobra maior transcendência a desidratação para explicar um aumento de albumina. As globulinas também registraram maiores valores no caso das vacas em estresse calórico moderado.

A ureia também é indicador de desidratação, mas pode ser afetado por uma série de fatores adicionais, principalmente nutricionais (equilíbrio proteico). No nosso experimento, foram observadas maiores concentrações de ureia em vacas sob estresse calórico moderado do que em vacas sob estresse severo, mas em qualquer caso, maiores que nas vacas em conforto térmico. Deve-se ainda considerar que vacas em estresse calórico podem estar com balanço proteico negativo, em função do baixo consumo de alimento, ocasionando um maior catabolismo das proteínas endógenas para a manutenção da lactação, fazendo com que aumente a concentração de ureia sanguínea. Também houve um aumento dos valores de creatinina que tiveram aumento progressivo à medida que aumentou o estresse calórico. Esses achados em conjunto -aumento de proteínas e azotemia- revelam que as vacas sob estresse calórico estão sofrendo um grau de desidratação moderada.

As concentrações de glicose e de colesterol foram maiores nos animais sob estresse calórico. O aumento de glicose em animais sob estresse calórico severo foi significativo com relação aos demais grupos, o que pode estar relacionado com a maior secreção de cortisol nessas condições ambientais (Wise et al., 1988) por estímulo à gliconeogênese. O aumento de colesterol foi superior nas vacas em estresse calórico moderado do que no severo, mas em qualquer caso significativamente superiores aos animais em conforto térmico. Um aumento no colesterol pode estar relacionado com diminuição da secreção de tiroxina que ocorre em animais sob estresse calórico, visando a diminuição de calor

metabólico (West, 2003). Os resultados estatísticos sugerem que o colesterol pode ser melhor indicador de estresse calórico do que a glicose. Este resultado difere drasticamente do achado por Ronchi et al. (1999) quem sugerem que no estresse calórico ocorreria uma diminuição da atividade hepática, levando a menores valores de colesterol e de glicose.

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão de indicadores metabólicos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul

Indicador	THI = 59 (controle)	75 < THI < 81 (leve)	81 < THI < 82 (moderado)	83 < THI < 90 (severo)
N	50	100	150	150
Proteína total (g/L)	72,7 ± 9,7	80,5 ± 10,7	77,6 ± 10,0	76,7 ± 10,1
Albumina (g/L)	26,1 ± 3,4	30,5 ± 5,7	27,7 ± 3,7	29,9 ± 9,1
Globulinas (g/L)	46,5 ± 10,1	50,0 ± 10,3	49,8 ± 9,7	46,8 ± 12,2
Ureia (mg/dL)	35,2 ± 9,6	33,2 ± 12,4	34,0 ± 13,6	33,2 ± 10,6
Creatinina (mg/dL)	1,05 ± 0,2	1,08 ± 0,2	0,92 ± 0,2	1,12 ± 0,2
Glicose (mg/dL)	53,7 ± 9,9	60,4 ± 9,7	58,9 ± 17,5	60,0 ± 12,0
Colesterol (mg/dL)	86,6 ± 32,5	151,0 ± 51,0	164,1 ± 45,8	147,8 ± 44,3
Triglicerídeos (mg/dL)	11,6 ± 2,1	13,5 ± 7,1	13,8 ± 6,4	14,0 ± 6,0
β-OH-butilato (mmol/L)	0,77 ± 0,5	0,83 ± 0,2	0,82 ± 0,3	0,80 ± 0,5
Lactato(mmol/L)	n.d.	1,69 ± 0,6	1,41 ± 0,6	1,2 ± 1,1
AST (U/L)	55,6 ± 44,5	130,3 ± 48,5	125,6 ± 51,9	115,4 ± 46,5
GGT (U/L)	36,8 ± 35,7	33,4 ± 15,3	34,4 ± 10,6	32,6 ± 13,6
FA (U/L)	68,0 ± 39,2	95,5 ± 85,2	102,6 ± 98,8	97,6 ± 83,7

Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$) entre grupos de estresse calórico.

Triglicerídeos e beta-hidroxibutilato (BHB) não se viram afetados pelo estresse calórico, diferindo dos achados de Ronchi et al., quem encontraram aumento de BHB em vacas com estresse calórico. Rhoads et al. (2009) afirmam que o estresse por calor em vacas não causa o perfil metabólico típico de um animal em balanço energético negativo, e que por isso não haveria aumentos consideráveis de ácidos graxos livres

(AGL). Entretanto, os aumentos de AST observados em vacas sob ambiente quente no presente trabalho falam a favor de uma lipomobilização moderada. Para isso teria sido necessária a dosagem de AGL. De qualquer forma, a manutenção dos valores de BHB revela que o balanço energético não foi altamente negativo. Por sua vez, Shehab-El-Deen et al. (2010) encontraram diminuição de glicose e de colesterol e aumento de AGL em vacas com estresse calórico, explicado, segundo os autores, pelo menor consumo de alimento. Pelos achados no nosso experimento e na literatura, é possível perceber que é difícil diferenciar os efeitos diretos do estresse calórico dos efeitos indiretos, como é a diminuição do consumo de alimento.

Os valores de lactato foram menores em animais com estresse calórico severo. O lactato tem sido usado na avaliação do estresse em algumas espécies, mas nesses casos causando aumento deste metabólito (Ludtke et al., 2010) e não diminuição, como foi observado no presente experimento em vacas sob estresse calórico severo. Trabalhando em ratos com processos sépticos, Deshpande et al. (2000) obtiveram diminuição do lactato quando os animais são submetidos a estresse calórico. Os autores atribuem a queda no lactato à maior disponibilidade de oxigênio tissular nos animais submetidos a calor por causa do aumento da frequência respiratória. No presente trabalho, este conceito é coerente com a maior pO_2 encontrada nas vacas sob estresse calórico severo. Os valores de FA e GGT não foram afetados pelo estresse calórico, diferentemente do mencionado por Abeni et al. (2007) quem relatam diminuição da FA em vacas sob estresse calórico atribuindo esse evento a uma menor atividade hepática. Os mecanismos que causam diminuição de lactato e FA em estresse por calor em vacas leiteiras devem ser objeto de maiores estudos.

INDICADORES ÁCIDO-BÁSICOS

Quanto aos indicadores acidobásicos (Tabela 4) foi observado que o pH do sangue foi menor no estresse calórico, havendo portanto uma tendência a acidose. Porém, o pH urinário foi superior em vacas em estresse calórico. Esses dois dados são aparentemente paradoxais. Os valores de bicarbonato e de CO_2 total foram maiores nas vacas em condições de conforto térmico, ao tempo que o valor de pO_2 foi superior no estresse calórico severo.

O aumento da pO_2 é esperado por conta do aumento da frequência respiratória no estresse calórico. Esse aumento foi bem maior nas vacas em estresse calórico severo. Considerando a equação básica do sistema tamponante do sangue ($CO_2 \leftrightarrow HCO_3$) e o aumento da frequência respiratória cabe esperar, no estresse calórico, uma diminuição da pCO_2 , valor que está compreendido dentro do CO_2 total, o qual diminuiu nas vacas em estresse calórico. O CO_2 perdido na respiração provoca uma alcalose respiratória em casos de estresse calórico, mas o sistema se desloca à esquerda da reação para compensar a perda de CO_2 , causando também uma diminuição do bicarbonato (acidose metabólica compensatória), que se perde pela urina. Em casos de estresse calórico cabe esperar aumento do pH urinário devido à perda de bicarbonato pela urina (West, 2003), o que no presente experimento foi observado. No estresse calórico está ocorrendo, portanto, uma alcalose respiratória em primeira instância, compensada por uma acidose metabólica com perda de bicarbonato pela urina, o que explicaria a aparente acidose paradoxal.

Os valores de sódio aumentam no estresse calórico moderado, o que pode ser coerente com a situação de desidratação já mencionada. Ocorre uma menor concentração de potássio em animais sob estresse calórico, o que pode ser explicado pela perda deste eletrólito através do suor (West, 2003).

Tabela 4. Valores médios e desvio padrão de indicadores gasométricos em vacas de raça Holandesa submetidas a estresse calórico natural no Planalto Médio do Rio Grande do Sul

Indicador	THI = 59 (controle)	75 < THI < 81 (leve)	81 < THI < 82 (moderado)	83 < THI < 90 (severo)
N	50	100	150	150
pH do sangue	7,46 ± 0,02	7,42 ± 1,13	7,43 ± 0,04	7,42 ± 0,95
pH da urina	7,83 ± 0,25	8,02 ± 0,84	7,94 ± 0,28	7,98 ± 0,70
Bicarbonato (mmol/L)	29,5 ± 2,4	26,7 ± 4,9	25,3 ± 2,5	25,8 ± 4,7
pCO_2 (mmHg)	41,7 ± 3,5	42,2 ± 9,3	39,0 ± 5,2	40,5 ± 8,7
CO_2 total (mmol/L)	30,8 ± 2,4	27,9 ± 5,1	26,5 ± 2,6	26,9 ± 4,8
pO_2 (mmHg)	48 ± 27,7	59,3 ± 34,3	60,2 ± 31,2	66,8 ± 37,7
Na (mmol/L)	n.d.	140,4 ± 21,5	135,1 ± 30,4	137,5 ± 23,6

K (mmol/L)	n.d.	4,19 ± 0,7	4,1 ± 0,3	3,77 ± 0,6
------------	------	------------	-----------	------------

Letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$) entre grupos de estresse calórico.

CONCLUSÃO

A presente pesquisa mostra que o estresse calórico tem efeito sobre indicadores clínicos e causa diminuição da produção láctea em vacas de raça Holandesa nas condições estudadas. Sobre a composição do leite, o estresse calórico causa diminuição da lactose e aumento da CCS, sem afetar gordura nem proteína. Sobre os indicadores metabólicos, o efeito do estresse calórico mais evidente foi sobre as proteínas totais, a albumina e a ureia, que aumentaram provavelmente em consequência de desidratação. Também o colesterol teve aumento devido ao provável efeito da menor secreção de tiroxina em condições de maior calor. Ainda devem definir-se os mecanismos que fazem diminuir os valores de lactato e de fosfatase alcalina em animais estressados por calor. Uma possível condição de acidose metabólica foi observada por efeito compensatório à alcalose respiratória produzida pelo estresse calórico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeni, F.; Calamari, L.; Stefanini, L. Metabolic condition of lactating Friesian cows during the hot season in the Po Valley. I. Blood indicators of heat stress. *International Journal of Biometeorology*, v. 52, p. 87-96, 2007.
- Antunes, M.M.; Pazinato, P.G.; Pereira, R.A.; Schneider, A.; Bianchi, I.; Correa, M.N. Efeitos do estresse calórico sobre a produção e reprodução do gado leiteiro. Núcleo de pesquisa, ensino e extensão em pecuária, Universidade Federal de Pelotas, 2009. 5p.
- Armstrong, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, v. 77, p. 2044-2050, 1994.
- Bertoni, G. Effects of heat stress on endocrine-metabolic and reproductive status of the dairy cows. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, v. 24, p. 273-282, 1998.
- Deshpande, G.G.; Heideman, S.M.; Sarnaik, A.P. Heat stress is associated with decreased lactic acidemia in rat sepsis. *Critical Care*, v. 4, p. 45-49, 2000.
- Dikmen, S.; Hansen, P.J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 109-116, 2009.
- Ferreira, F.; Campos, W.E.; Carvalho, A.U.; Pires, M.F.A.; Martinez, M.L.; Silva, M.V.; Verneque, R.S.; Silva, P.F. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, p. 769-776, 2009.

- Hemsworth, P.H.; Barnett, J.L.; Beveridge, L.; Matthwes, L.R. The welfare of extensively managed dairy cattle: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 42, p. 161–182, 1995.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, v. 77, p. 59-91, 2002.
- Ludtke, C.B.; Silveira, E.T.F.; Bertolini, W.; Andrade, J.C.; Buzelli, M.L.; Bessa, L.R.; Soares, G.J.D. Bem-estar e qualidade de carne de 6 suínos submetidos a diferentes técnicas de manejo pré-abate. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, p.231-241, 2010.
- McDowell, D., Hooven, N. and Cameron, K. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, v. 68, p. 2418–2435, 1979.
- O'Brien, M.D.; Rhoads, R.P.; Sanders, S.R.; Duff, G.C.; Baumgard, L.H. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, v. 38, p. 86-94, 2010.
- Ostrensky, A. Efeitos do ambiente sobre a contagem de células somáticas no leite de vacas da raça Holandesa no Paraná. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná. 1999. 130p.
- Rhoads, M.L.; Rhoads, R.P.; Van Baale, M.J.; Collier, R.J.; Sanders, S.R.; Weber, W.J.; Crooker, B.A.; Baumgard, L.H. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 1986-1997, 2009.
- Ronchi, B.; Bernabucci, U.; Lacetera, N., Verini Supplizi, A.; Nardone, A. Distinct and common effects of heat stress and restricted feeding on metabolic status of Holstein heifers. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, v. 25, p. 11-20, 1999.
- Shehab-El-Deen, M.A.; Fadel, M.S.; Van Soom, A.; Saleh, S.Y.; Maes, D.; Leroy, J.L.M. Circadian rhythm of metabolic changes associated with summer heat stress in high producing dairy cattle. *Tropical Animal Health Production*, v. 42, p.1119-1125, 2010.
- St. Pierre, N.R.; Cobanov, B.; Schmitkey, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, v. 86 (ESuppl.):E52–E77, 2003.
- West, J.W. Effects of heat stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 86, p. 2131-2144, 2003.
- Wise, M.E.; Armstrong, D.V.; Huber, J.T.; Hunter, R.; Wiersma, F. Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *Journal of Dairy Science*, v. 71, p. 2480-2485, 1988.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O clima é um dos principais fatores que afetam a produção animal, sendo estratégico o seu conhecimento para o projeto de instalações e de sistemas de arrefecimento e para o manejo dos animais. Assim, para que os animais possam exprimir todo o seu potencial produtivo, torna-se necessário considerar a interação entre genética, nutrição, sanidade e ambiente térmico.

As regiões do sul e sudeste do Brasil apresentam-se propícias para a produção de leite utilizando vacas da raça Holandesa, para o qual se deve considerar o ITU como índice de conforto e bem-estar animal, diminuído o risco de queda no desempenho produtivo e reprodutivo em animais de alto mérito genético, de acordo com as condições específicas de cada propriedade.

Através do conhecimento do ITU pode se estabelecer qual o limite crítico para produção e podem ser adotadas medidas adequadas para reduzir ou eliminar os efeitos do estresse térmico por calor.

As respostas do animal ao ambiente quente são relacionadas de várias formas e, evidentemente, envolvem os efeitos diretos da temperatura, alterando a regulação do sistema nervoso, o balanço hídrico, o nível hormonal, o balanço nutricional e o equilíbrio bioquímico.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M.; LANA, A. M. Q.; SAMPAIO, I. B. M.; MONTEIRO, J. B. N.; MORATO, L. E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4, 7/8 Holandês-Zebu em lactação. *Rev. Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 6, p.2000-2008, 2005.

ABENI, F.; CALAMARI, L.; STEFANINI, L. Metabolic condition of lactating Friesian cows during the hot season in the Po Valley. I. Blood indicators of heat stress. *International Journal of Biometeorology*, v. 52, p. 87-96, 2007.

ANTUNES, M.M.; PAZINATO, P.G.; PEREIRA, R.A.; SCHNEIDER, A.; BIANCHI, I.; CORREA, M.N. Efeitos do estresse calórico sobre a produção e reprodução do gado leiteiro. Núcleo de pesquisa, ensino e extensão em pecuária, Universidade Federal de Pelotas, 2009. 5p.

ARMSTRONG, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, v. 77, p. 2044-2050, 1994.

BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2001. 142p.

BERRY I.L, M.D. SHANKLIN AND H.D. JOHNSON. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans. Am. Soc. Ag. Eng.* v.7, p. 329-331. 1964.

BERNABUCCI, U., LACETERA, N., BAUMGARD, L., RHODAS, R., RONCHI, B., NARDONE, A. Effects of the hot season on milk protein fractions on holstein cows. *Animal Research*. v. 51, p. 35-33. 2002.

BERTONI, G. Effects of heat stress on endocrine-metabolic and reproductive status of the dairy cows. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, v. 24, p. 273–282, 1998.

BUCKLEY, F.; DILLON, P.; RATH, M.; VEERKAMP, R. F. The relationship between genetic merit for yield and live weight, condition score, and energy balance of spring calving Holstein-Friesian dairy cows on grass based systems of milk production. *Journal of Dairy Science*, v. 83, p.1878–1886, 2000.

BRUSS, L.M. Lipids and ketones. In: _____ KANEKO, J.J.; HARVEY, W.J.; BRUSS, L.M. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6th ed. San Diego, California, Academic Press, 2008, cap. 4, p. 81-115, ISBN: 9780123704917.

CUNNINGHAM, J.G. *Tratado de fisiologia veterinária*. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999. 454p.

DESHPANDE, G.G.; HEIDEMAN, S.M.; SARNAIK, A.P. Heat stress is associated with decreased lactic acidemia in rat sepsis. *Critical Care*, v. 4, p. 45-49, 2000.

DRACKLEY, J. K. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 2259-2273, 1999.

DIKMEN, S.; HANSEN, P.J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 109-116, 2009.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. The statistic division: dairy cattle in the world. Disponível em <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 3 Nov. 2009.

FERREIRA, F.; CAMPOS, W.E.; CARVALHO, A.U.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L.; SILVA, M.V.; VERNEQUE, R.S.; SILVA, P.F. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, p. 769-776, 2009.

FUQUAY, J. W. Heat stress as it affects production. *Journal of animal science*, v. 52, p. 167-174. 1981.

GOFF, J. P., HORST, R. L. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science*, v. 80, p. 1260-1268, 1997.

HEMSWORTH, P.H.; BARNETT, J.L.; BEVERIDGE, L.; MATTHWES, L.R. The welfare of extensively managed dairy cattle: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 42, p. 161-182, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 Nov. 2012.

THOM, E.C. 1958. Cooling degree days. *Air conditioning, heating and ventilating* v. 55, p.65- 69.

KADZERE, C.T., MURPHY, M.R., SILANIKOVE, N., MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, v. 77, p. 59-91, 2002.

KANEKO, J.J.; HARVEY, J. W.; BRUSS, M. L. *Clinical biochemistry of domestic animals*. 6th ed. San Diego, CA: Academic Press; 2008, 916p.

LUDTKE, C.B.; SILVEIRA, E.T.F.; BERTOLINI, W.; ANDRADE, J.C.; BUZELLI, M.L.; BESSA, L.R.; SOARES, G.J.D. Bem-estar e qualidade de carne de 6 suínos submetidos a diferentes técnicas de manejo pré-abate. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, p.231-241, 2010.

MCDOWELL, D., HOOVEN, N. AND CAMERON, K. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, v. 68, p. 2418-2435, 1979.

O'BRIEN, M.D.; RHOADS, R.P.; SANDERS, S.R.; DUFF, G.C.; BAUMGARD, L.H. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, v. 38, p. 86-94, 2010.

OSTRENSKY, A. Efeitos do ambiente sobre a contagem de células somáticas no leite de vacas da raça Holandesa no Paraná. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná. 1999. 130p.

RHOADS, M.L.; RHOADS, R.P.; VAN BAALE, M.J.; COLLIER, R.J.; SANDERS, S.R.; WEBER, W.J.; CROOKER, B.A.; BAUMGARD, L.H. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 1986-1997, 2009.

RONCHI, B.; BERNABUCCI, U.; LACETERA, N., VERINI SUPPLIZI, A.; NARDONE, A. Distinct and common effects of heat stress and restricted feeding on metabolic status of Holstein heifers. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, v. 25, p. 11-20, 1999.

SHEHAB-EL-DEEN, M.A.; FADEL, M.S.; VAN SOOM, A.; SALEH, S.Y.; MAES, D.; LEROY, J.L.M. Circadian rhythm of metabolic changes associated with summer heat stress in high producing dairy cattle. *Tropical Animal Health Production*, v. 42, p.1119-1125, 2010.

ST. PIERRE, N.R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, v. 86 (ESuppl.):E52–E77, 2003.

WEST, J.W. Effects of heat stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 86, p. 2131-2144, 2003.

WISE, M.E.; ARMSTRONG, D.V.; HUBER, J.T.; HUNTER, R.; WIERSMA, F. Hormonal alterations in the lactating dairy cow in response to thermal stress. *Journal of Dairy Science*, v. 71, p. 2480-2485, 1988.