

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ONDAS DE CALOR SOBRE A  
PRODUÇÃO DE LEITE NO ESTADO DE SÃO PAULO**

**KARLA ANDREA OLIVEIRA DE LIMA**

CAMPINAS

2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ONDAS DE CALOR SOBRE A  
PRODUÇÃO DE LEITE NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Dissertação submetida à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração de Construções Rurais e Ambiência.

**KARLA ANDREA OLIVEIRA DE LIMA**

**Orientadora – Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura**

**Co-orientadora – Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs**

CAMPINAS

2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L628e Lima, Karla Andréa Oliveira de  
Estudo da influência de ondas de calor sobre a  
produção de leite no Estado de São Paulo / Karla Andréa  
Oliveira de Lima. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Daniella Jorge de Moura, Irenilza de  
Alencar Nääs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Leite - Produção. 2. Conforto térmico. 3.  
Mudanças climáticas. I. Moura, Daniella Jorge de. II.  
Nääs, Irenilza de Alencar. III. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV.  
Título.

Título em Inglês: The study of heat waves influence on the milk yield in São Paulo  
State.

Palavras-chave em Inglês: Milk yield, Weather change, Temperature Humidity Index.

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente.

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Soraia Vanessa Matarazzo, Maria Ângela Fagnani e Irineu Arcaro  
Junior.

Data da defesa: 19/12/2006.

*Aos meus pais Waldemir e Sandra,  
aos meus irmãos Waldemir Jr.,  
Marina, Ivan, Rafael e ao meu  
namorado Elson, dedico e agradeço.*

## **Agradecimentos**

À minha orientadora, Prof. Dra. Daniella Jorge de Moura que foi mais que uma orientadora, foi e é uma amiga, que dividiu comigo seus conhecimentos, proporcionando a mim amadurecimento para a realização deste trabalho.

À minha co-orientadora, Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs, pelo exemplo de pessoa, e é sem dúvida, uma professora no sentido mais profundo da palavra.

Ao Prof. Dr. Kamal Abdel Radi Ismail por todo o incentivo, carinho e credibilidade depositada em mim, o que fez com que eu chegasse aqui.

À Profa. Dra. Maria Ângela Fagnani pelo seu aparente “pequeno” gesto, que me “abriu as portas”, tornando-se assim, grandioso.

À minha avó Luiza Costa Leite, por todas as suas doces palavras e as suas orações.

A todos os colegas do Laboratório de Conforto Térmico, em especial a Sílvia Regina Sousa e ao Douglas D’Alessando pela ajuda neste trabalho.

Às amigas Carmel Ribeiro, Kelly Tonello e Márcia Atarassi pelos momentos de descontração e companheirismo.

À Faculdade de Engenharia Agrícola, aos professores que colaboraram para minha formação como mestre e a todos os funcionários.

Ao Cnpq pela concessão da bolsa.

## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 A homeotermia.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Efeitos do estresse térmico em bovinos de leite.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Parâmetros Fisiológicos .....</b>	<b>9</b>
3.3.1 Freqüência respiratória .....	10
3.3.2 Temperatura retal.....	11
3.3.3 Temperatura da superfície do pelame.....	11
<b>3.4 Bem-estar animal.....</b>	<b>12</b>
<b>3.5 Índices de conforto térmico .....</b>	<b>13</b>
<b>3.6 Aquecimento Global e Fenômenos Climáticos.....</b>	<b>17</b>
<b>3.7 Ondas de calor na produção animal .....</b>	<b>20</b>
<b>3.8 Zoneamento climático .....</b>	<b>21</b>
<b>3.9 Resfriamento Evaporativo .....</b>	<b>22</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>Levantamento dos dados históricos .....</b>	<b>25</b>
4.1.1 Os Dados utilizados.....	27
4.1.2 Cálculo do Índice de Temperatura e Umidade.....	28
<b>4.2 Definição de Onda de Calor.....</b>	<b>28</b>
4.2.1 Cálculo da Magnitude da Onda de Calor.....	29
4.2.2 Cálculo das Perdas Estimadas na Produção Leiteira (DPL).....	29
<b>4.3 Zoneamento Bioclimático .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4 Validação .....</b>	<b>31</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>

<b>5.1</b>	<b>A distribuição do ITU médio por estação meteorológica.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Categorias do ITU X Número de horas.....</b>	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>Ondas de Calor.....</b>	<b>41</b>
5.3.1	A ocorrência de ondas de calor.....	42
5.3.2	Análise descritiva da ocorrência de ondas de calor.....	43
<b>5.4</b>	<b>Caracterização das Bacias leiteiras.....</b>	<b>62</b>
<b>5.5</b>	<b>Simulação do declínio na produção de leite em função do ITU durante as onda de calor por bacia leiteira.....</b>	<b>67</b>
<b>5.6</b>	<b>Validação do declínio na produção de leite.....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Balanço da produção e perda de calor (LEAL e NÄÄS, 1992).....	6
Figura 2: Zona de conforto térmico ou zona termoneutra, (MULLER, 1989).....	7
Figura 3: Relação entre umidade relativa e temperatura para estimar o ITU e interpretar os níveis de estresse a partir do valor calculado (ARMSTRONG, 1994).....	16
Figura 4: Relação da queda de produção de leite em função do ITU medido às 11h00min....	17
Figura 5: Variação da temperatura superficial da Terra nos últimos 140 anos em Graus Celsius a partir da média (FOLLAND et al. 2001).....	18
Figura 6: Comparação da mudança climática em relação à duração frio-calor (HOUGHTON et al. 2001).....	19
Figura 7: Desempenho do resfriamento adiabático evaporativo mostrado pelo gráfico psicrométrico (SILVA, 1998).....	23
Figura 8: Visualização espacial da distribuição das estações meteorológicas.....	27
Figura 9: Vista do galpão tipo freestall da fazenda usada para validação.....	32
Figura 10: Vista lateral do galpão.....	32
Figura 11: Distribuição do ITU médio anual nas mesorregiões do estado de São Paulo nos anos de 2003, 2004 e 2005.....	35
Figura 12: Distribuição e variação do valor médio do ITU ao longo dos anos de 1997 a 2000.....	36
Figura 13: Distribuição e variação do valor médio do ITU ao longo dos anos de 2001 a 2006.....	37
Figura 14: Relação da magnitude e duração das ondas de calor no município de Barretos para o período de estudo.....	44
Figura 15: Relação da magnitude e duração das ondas de calor no município de Bauru para o período de estudo.....	45
Figura 16: Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Cachoeira Paulista para o período de estudo.....	46
Figura 17: Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Caraguatatuba para o período de estudo.....	47

Figura 18: Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Cruzeiro no período de estudo.....	48
Figura 19: Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Guaratinguetá no período de estudo.....	49
Figura 20: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Iguape para o período de estudo.....	50
Figura 21: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Itu para o período de estudo.....	51
Figura 22: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Jaboticabal no período de estudo.....	52
Figura 23: Relação entre magnitude e duração das ondas de calor no município de Jaú no período de estudo.....	53
Figura 24: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Miguelópolis no período de estudo.....	54
Figura 25: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Monteiro Lobato no período de estudo.....	55
Figura 26: Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Paraibuna no período de estudo.....	56
Figura 27: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor do município de Presidente Prudente no período de estudo.....	57
Figura 28: Relação entre magnitude e duração das ondas de calor no município de Queluz no período de estudo.....	58
Figura 29: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de São José do Barreiro no período de estudo.....	59
Figura 30: Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Votuporanga no período de estudo.....	60
Figura 31: Distribuição espacial do ITU médio nas principais bacias leiteiras do Estado de São Paulo.....	63
Figura 32: Visualização dos gráficos de pontos discriminados para cada estação meteorológica em relação ao ITU médio (a) e ITU máximo (b).....	65

Figura 33: Gráfico de pontos discriminados para o ITU médio ao longo dos anos no Vale do Paraíba.....	66
Figura 34: Gráfico de pontos discriminados para o ITU máximo ao longo dos anos no Vale do Paraíba.....	67
Figura 35: Gráfico boxplot comparativo do DPL médio das bacias leiteiras utilizando o ITU médio encontrado durante o evento de onda de calor.....	68
Figura 36: Histograma de comparação entre DPL observado e DPL estimado.....	70
Figura 37: Distribuição dos pontos plotados em relação aos valores encontrados de DPL estimado e DPL (médio).....	71

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Categorias do ITU com relação a variáveis climáticas para bovinos e suínos em confinamento (USDC-ESSA, 1970).....	15
Tabela 2: Classificação dos valores do ITU para animais domésticos, descrita por Livestock Weather Safety Index ( DU PREEZ et al., 1990).....	15
Tabela 3: Identificação das estações meteorológicas utilizadas para representar o estado de São Paulo. ....	26
Tabela 4: Principais bacias leiteiras do estado e as estações representativas.....	30
Tabela 5: Valores médios anuais do ITU máximo, noturno e diferentes categorias.....	38
Tabela 6: Número de horas do ITU noturno e das categorias encontrado no intervalo de anos correspondente ao banco de dados de cada estação meteorológica. ....	39
Tabela 7: Relação do intervalo de anos de coleta de dados, do número de provável ocorrência de ondas e número de ondas ocorridas por ano para cada estação meteorológica estudada. ....	61
Tabela 8: Valores médios do ITU, categorias e ITU noturno para as bacias leiteiras.....	63
Tabela 9: Valores encontrados para as bacias leiteiras através do teste de Kruskal-Wallis.....	69
Tabela 10: Valores encontrados na comparação do DPL observado e DPL estimado após teste T.....	70

## RESUMO

Fenômenos climáticos de dimensões sem precedentes registrados nos últimos anos fizeram aumentar as preocupações na sociedade, pois estão de acordo com as projeções dos cientistas, segundo os quais qualquer mudança quanto ao clima médio afetará inevitavelmente a frequência de acontecimentos climáticos extremos tais como ondas de calor e chuvas intensas. Onda de calor é um período de calor desconfortável anormal, geralmente acompanhado de alta umidade relativa com duração de pelo menos um dia, mas se estendendo por alguns dias ou mesmo semanas (AMS, 1989). A ocorrência destes eventos pode ocasionar o estresse térmico influenciando negativamente a produção animal, causando grandes perdas nos processos produtivos e reprodutivos. O presente trabalho teve como objetivo geral estimar as perdas da produção leiteira, em função da ocorrência de ondas de calor, nas bacias leiteiras do Estado de São Paulo, baseado no Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio. Para tanto foi determinada a frequência de ocorrências de ITU acima do nível crítico. Foi elaborado um histórico de ocorrência de onda de calor no Estado de São Paulo baseado em dados climatológicos num intervalo de anos variando de três a dez anos. Também se quantificou as perdas médias estimadas de produção de leite nas principais regiões leiteiras durante os períodos identificados de onda de calor e por fim validaram-se os índices médios estimados de perdas na produção de leite com dados do controle leiteiro de uma fazenda comercial. Os resultados mostraram que os municípios da bacia leiteira do Vale do Paraíba e a cidade de Presidente Prudente foram os que apresentaram o maior número de ondas de calor por ano e que nem sempre as ondas de calor de maior duração apresentaram maior intensidade de ocorrência. Ao simular o Declínio na Produção Leiteira (DPL) das Bacias do Vale do Paraíba, São José do Rio Preto e Ribeirão Preto não foram encontradas diferenças bioclimáticas entre as mesmas. Observou-se que o DPL estimado superestimou as perdas produtivas efetivamente ocorridas, pois não considerou o efeito da adaptação dos animais ao calor nem a presença de equipamentos de climatização. Concluiu-se que o estudo da ocorrência de ondas de calor mostra de forma mais efetiva o efeito nocivo do ambiente térmico

**Palavras-chaves:** produção leiteira, mudança climática, ITU

## ABSTRACT

Climate phenomena recorded in the last years with dimensions without precedent raised the worry of society, as they are in accordance with the projections made by scientists who predicted that any change regarding the average weather may affect the frequency of occurrence of weather extremes such as heat waves and thunderstorms. Heat wave is a period of abnormal intense heat generally followed by high relative humidity with the duration of at least one day; however conventionally being extended by some days or even some weeks (AMS, 1989). The occurrence of heat waves can cause heat stress that input a negative influence in animal production causing high losses in production and reproduction processes. High environmental temperatures associated to high relative humidity almost lead to thermal discomfort which induces negatively metabolic and physiological responses. Thus this research has as general objective to estimate milk production losses as function of heat wave incidence in the dairy regions of São Paulo state based on the average temperature and humidity index (THI). Therefore it was determined the THI frequency of occurrence above the critical level. A historical of heat wave occurrence was developed based on climatic data in an interval of three to ten years. It was also quantified the estimated average milk production loss in the major dairy regions during the identified heat wave periods, finally the estimating production index was validated with milk production data from a commercial dairy farm. The results showed that the counties within the Paraíba Valley dairy region as well as Presidente Prudente County presented the highest number of heat wave occurrence per year, and that not always the heat wave with longest period presented higher intensity of occurrence. It was not found statistical difference in the bio climate when simulating the milk decline index (MDEC) for the regions of Paraíba valley, São José do Rio Preto, and Ribeirão Preto. It was observed that the simulated MDEC index present overestimated values for the milk production losses when compared to the real ones as it did not considered the effect of the animal adaptation to the heat neither the presence of acclimation equipments. The conclusion is that the study of heat wave occurrence shows in a more effective way the heat stress effect on dairy production which is not practically identified when studying just the average THI occurrence.

**Key words:** milk yield, weather change, THI

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Embrapa gado de leite, a bovinocultura leiteira brasileira apresentou em 2004 uma produção de 23.320 mil toneladas ficando em sexto lugar na produção mundial de leite. Precisamente quando se compara os anos de 1995 quando a produção foi de 16.985 mil toneladas e 1999, de 19.661 mil toneladas, observamos de 1995 a 2004 um aumento de aproximadamente 37% na produção leiteira.

Os dados acima dão uma visão bastante otimista dos números da produção leiteira, mas o potencial brasileiro pode ir além disso, se forem reduzidas as perdas, permitindo que os rebanhos expressem o seu máximo produtivo. Apesar de toda a tecnologia usada no sistema de produção leiteiro, aliada a rebanhos cada vez mais adaptados geneticamente, ainda assim os valores alcançados não são os esperados, em vista de todos os recursos utilizados e disponíveis nesse tipo de produção.

Com todas as pesquisas e estudos desenvolvidos nesta área, sabe-se hoje que grande parte dessa perda na produção de leite, deve-se às altas temperaturas encontradas no território nacional, pois a maior parte do território brasileiro está situada na zona intertropical que é a mais quente da terra, prevalecendo climas quentes e úmidos com médias superiores aos 20°C. Desta forma o ambiente torna-se desfavorável justamente às raças com maiores índices produtivos, como o gado Holandês, Jersey ou Pardo-Suíço, uma vez que estas são de origem européia, geneticamente adaptadas a clima mais ameno do que o encontrado no Brasil.

Numa região intertropical, também conhecida como zonas de latitudes baixas, localizadas entre a linha do Equador (passando por Macapá) e o trópico de Capricórnio (passando por São Paulo), com temperaturas médias em torno de 20°C, a temperatura do ar

encontra-se freqüentemente próxima da corporal ou a excede, pois segundo ESMAY (1969) a temperatura do núcleo corporal dos bovinos está entre 38,5°C. Nestas regiões a temperatura radiante média do ambiente tende a ser mais elevada que a atmosférica, conseqüentemente, as trocas de calor por convecção e radiação são dificultadas ou mesmo inibidas. Se a região tiver um histórico de alta umidade relativa, a perda de calor através da evaporação será prejudicada, de modo que o estresse proporcionado sobre os animais pode ser muito elevado.

O calor é uma energia em transição, é fonte de vida necessária aos seres vivos. Entretanto, quando este calor ultrapassa as conhecidas zonas de conforto térmico, que no caso de bovinos de leite está entre 4 a 26°C, de acordo com HUBER (1990), passa a ser prejudicial, pois o excesso de calor ocasiona alterações químicas e físicas do animal. Se persiste por muito tempo, podem causar uma série de degenerações levando o animal até mesmo a óbito.

As altas temperaturas que se tem observado nos últimos anos são conseqüência do aquecimento global, em decorrência da elevação nos níveis de dióxido de carbono na atmosfera, que aumentam por causa da queima de combustível fóssil, além do crescimento progressivo na emissão de gases e outros produtos químicos.

Esse aumento da temperatura global desencadeia sérias alterações climáticas como ondas de calor, verões cada vez mais quentes, invernos menos rigorosos, inundações em algumas regiões e grandes secas em outras, trazendo com isso danos à saúde humana e prejuízos na produção animal e vegetal.

Essas alterações climáticas têm tornado o ambiente mais estressante à criação leiteira em confinamento, principalmente quando ocorre o aumento repentino da temperatura associado com alta umidade relativa por alguns dias consecutivos, caracterizando as chamadas ondas de calor.

Nesse contexto o conhecimento das condições climáticas médias previsíveis, suas variações estacionais e duração de condições extremas, pode ser um valioso instrumento para determinar a possibilidade de se produzir leite com gado especializado em uma determinada região crítica, ajudando a definir quais as técnicas de climatização mais adequadas para a manutenção da produção desses animais.

Muitos são os fatores que afetam negativamente a produção de animais criados em confinamento, dentre eles está o estresse ocasionado pelo calor. Esse estresse é acentuado quando se associam altas temperaturas e altos níveis de umidade relativa, pois essa condição

prejudica a perda de calor através dos processos evaporativos de termorregulação do animal. Quando o animal começa a sofrer pelo calor, ele diminui a sua ingestão de alimentos, baixa o metabolismo, provocando uma hipofunção da tireóide que influenciará no crescimento, na eficiência reprodutiva, na conversão alimentar e na produção de leite.

Tendo-se o conhecimento das perdas dentro da pecuária leiteira devido às condições climáticas adversas encontradas no Brasil, e sendo o estado de São Paulo o segundo maior produtor de leite dentro da região Sudeste, observa-se a importância do mapeamento e da identificação climática do estado a fim de diminuir as perdas produtivas, através da orientação dos produtores com relação a manejos antecipados, visando prevenir os efeitos decorrentes de possíveis ondas de calor.

A hipótese do presente trabalho é que há influência das ondas de calor sobre o desempenho produtivo de vacas leiteiras no estado de São Paulo e que é possível mapear essa influência, através de um zoneamento climático.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho teve como objetivo geral estimar as perdas da produção leiteira, em função da ocorrência de ondas de calor, por bacia leiteira do estado de São Paulo, baseado no ITU médio de cada bacia leiteira.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar a frequência de ocorrências de ITU acima do nível crítico ( $ITU \geq 81$ ), considerado de termoneutralidade para vacas leiteiras;
- Elaborar um histórico de ocorrência de onda de calor no estado de São Paulo, baseado em dados climatológicos num intervalo de anos variando de 2 a 10 anos;
- Quantificar as perdas médias estimadas de produção de leite nas principais regiões leiteiras, durante os períodos identificados de ondas de calor;
- Validar os índices médios estimados de perdas na produção de leite, em dados do controle leiteiro de uma fazenda comercial.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 A homeotermia**

Várias definições são dadas para homeotermia, em que o animal homeotermo é aquele que mantém a temperatura do núcleo corporal dentro de limites relativamente estreitos, mesmo que a temperatura ambiental flutue e que a sua atividade varie intensamente (BAÊTA e SOUZA, 1997). A homeotermia também pode ser considerada como o processo no qual ocorre a manutenção da temperatura corporal em níveis constantes, independentemente de variações da temperatura ambiente (JOHNSON, 1987).

Os animais mantêm a homeotermia através das trocas de calor com o meio ambiente, utilizando mecanismos fisiológicos, metabólicos e comportamentais. Entre esses mecanismos destaca-se a vasodilatação periférica, que é responsável pelo redirecionamento do fluxo sanguíneo, facilitando a dissipação de calor por meios não evaporativos, como a condução, convecção e radiação (JOHNSON, 1987).

Quando a temperatura externa extrapola os limites fisiológicos e o animal começa a ganhar calor, imediatamente aciona vários mecanismos para promover a perda de calor e voltar ao equilíbrio térmico (SANTOS 1999).

A manutenção da temperatura corporal depende do balanço de produção e perda de calor, está representado na Figura 1.

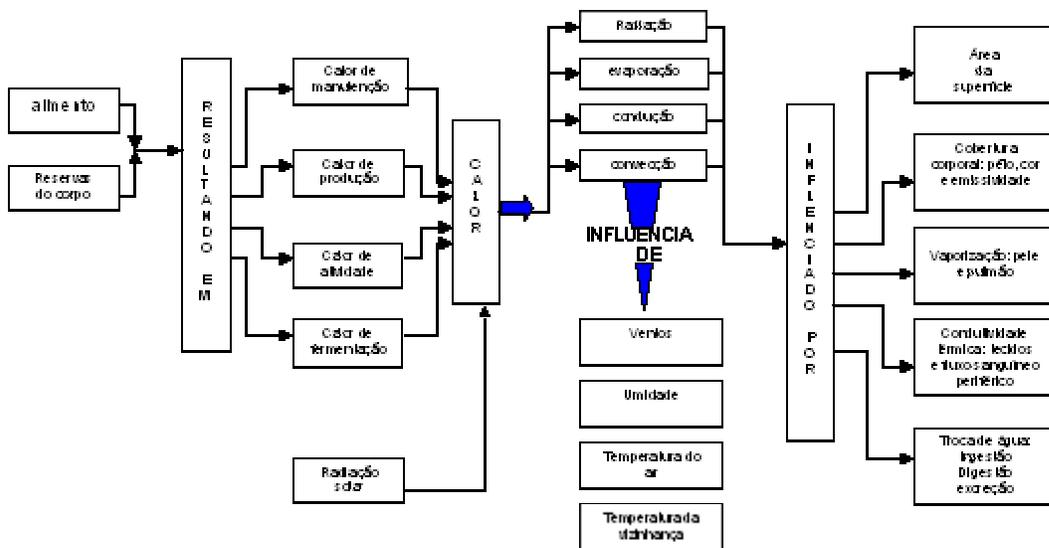


Figura 1. Balanço da produção e perda de calor (LEAL e NÄÄS, 1992).

O animal pode perder calor pelos processos de evaporação, (sudorese e respiração), condução, convecção e radiação. Sendo que, pelos três últimos processos, a sua relevância só ocorre em ambientes que apresentam temperaturas mais amenas, pois a troca de calor está diretamente relacionada com o diferencial de temperatura existente entre a superfície dos corpos e o ar que os circunda.

Para os homeotermos apresenta-se uma faixa de temperatura denominada de zona de termoneutralidade dentro da qual os organismos se encontram em conforto térmico, não sendo necessária a ativação dos sistemas de termólise ou termogênese para manter a temperatura corporal constante. A Figura 2 mostra os limites da zona de termoneutralidade onde os animais não sofrem estresse por frio nem por calor.

Ao ultrapassar a zona de conforto térmico, no sentido (A'- B') começam a atuar os primeiros mecanismos de termorregulação, como vasodilatação periférica, sudorese e polipnéia. Na persistência dessa situação de estresse térmico, sentido (B'- C') os mecanismos de termorregulação intensificam-se, e o animal busca reduzir seu metabolismo por meio da depressão da atividade da tireóide, produzindo uma menor quantidade de tiroxina. Tal evento está associado à diminuição da ingestão de alimentos e mobilização das reservas corporais.

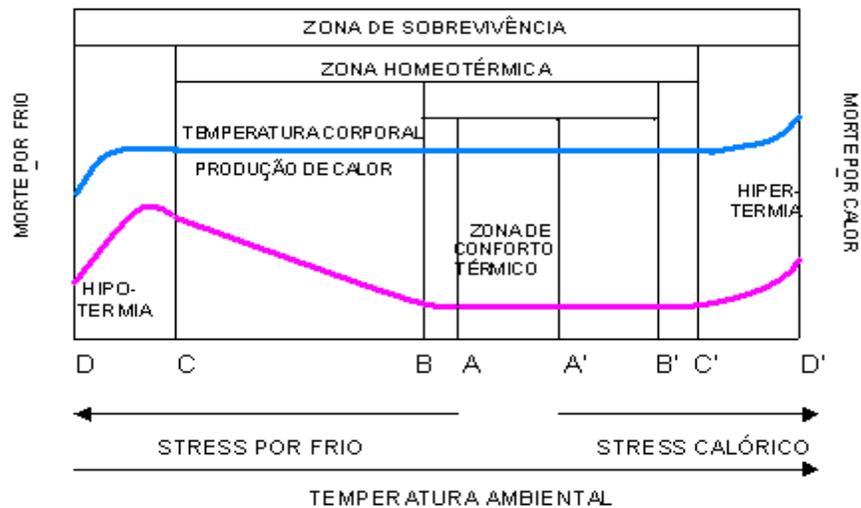


Figura 2. Zona de conforto térmico ou zona termoneutra, (MULLER, 1989).

Mesmo sob estas condições, o animal é capaz de manter a homeotermia. Entretanto, com o aumento do estresse térmico os mecanismos de defesa se tornam insuficientes, ocorrendo um quadro de hipertermia (C' - D') acentuada que, se persiste durante algumas horas, leva o animal a óbito (HAFEZ, 1973). No estresse ocasionado por frio no sentido (A - B), o animal começa a sofrer contrações musculares (calafrios) que estimulam a produção de adrenalina causando assim uma vasoconstrição cutânea, reduzindo a perda de calor ocorrendo então, redução da frequência cardíaca e respiratória, encaminhando-se para o sentido (B - C), com a continuidade do processo de hipotermia (C - D), ocorre depressão do sistema nervoso e colapso do sistema circulatório, levando o animal a óbito.

### 3.2 Efeitos do estresse térmico em bovinos de leite

A resposta de um ser vivo ao ambiente no qual está inserido é geralmente adaptativa, ou seja, as possibilidades de sobrevivência da espécie são aumentadas se o animal consegue regular sua resposta de modo apropriado às mudanças das condições ambientais. Geralmente, essas reações são movimentos da totalidade ou parte de seu corpo ou mesmo da inatividade, a qual se mostra uma reação significativa, e diretamente relacionada à mudança no ambiente (BOWLER, 1993).

O estresse produz uma série de modificações na composição química e na estrutura funcional do organismo. Algumas dessas modificações são necessárias à adaptação do indivíduo à situação atual, podendo até serem mecanismos de defesa contra os agentes estressores, entretanto, algumas vezes, tais modificações podem resultar em dano ou lesão (BALLONE, 1999).

Baseado nas respostas termorregulatórias, principalmente na temperatura corporal, BIANCA (1961) classificou o estresse térmico da seguinte maneira:

- Estresse brando: os mecanismos termorregulatórios são eficientes em manter a temperatura corporal na faixa da normalidade;
- Estresse moderado: os mecanismos termorregulatórios são intensificados e a temperatura corporal pode se estabilizar, porém em nível mais elevado;
- Estresse severo: as reservas funcionais dos mecanismos termorregulatórios vão se tornando exaustos, e a temperatura corporal aumenta continuamente;
- Estresse excessivo: os mecanismos termorregulatórios tornam-se insuficientes, ocorrendo hipertermia acentuada e o animal sucumbe em curto espaço de tempo.

Segundo YOUSEF e JOHNSON (1985), a principal razão para o decréscimo na produção de leite em climas quentes é a redução no consumo de alimentos, sendo uma tentativa do animal de minimizar o desequilíbrio térmico e manter a homeotermia.

De acordo com SHEARER e BEEDE (1990) pouca quantidade de nutrientes e energia estarão disponíveis para a produção de leite, pois o organismo quando em estresse calórico na finalidade de facilitar as trocas de calor e manter sua temperatura corporal dentro dos padrões, redireciona o fluxo sanguíneo dos órgãos internos para os tecidos periféricos, através da vasodilatação, causando um menor fluxo de sangue à veia porta e à glândula mamária.

JOHNSON (1965) fez uma tentativa de demonstrar a síndrome de adaptação geral com vacas em lactação, baseada nos princípios postulados por SELYE (1975). Assim, quando uma vaca em lactação é submetida a uma temperatura de 29°C (estresse por calor) e, logo após, encontrar-se sob condição de termoneutralidade ou conforto (18°C), sua reação é adaptar-se fisiologicamente ao estresse agudo, desencadeando a reação de alarme com uma acentuada queda na produção de leite.

A temperatura alta age sobre a fisiologia da produção de leite através da redução da ingestão de alimentos, diminuição do metabolismo através da inanição da tireóide, agindo sobre o sistema endócrino e provocando uma hipofunção da tiróide (ANDERSON, 1988). Com relação à composição do leite, o gado leiteiro submetido a altas temperaturas, aumenta alguns constituintes do leite, como nitrogênio não protéico, ácido palmítico e esteárico e outros diminuem como a taxa de gordura, sólidos totais, nitrogênio total, lactose, ácidos graxos de cadeia curta e ácido oléico. Quando na industrialização do leite os íons hidratos e fosfatos se encontram em proporção baixa em relação aos íons cálcio e magnésio, ocorrerá a coagulação do leite durante o processo de pasteurização (MULLER, 1989).

O estresse térmico também causa uma acentuada diminuição na circulação uterina, a qual está associada à diminuição na taxa de concepção, redução do crescimento fetal e alteração da função placentária. Essas alterações oriundas do estresse térmico podem ser responsáveis pela baixa produção de leite e baixo desempenho reprodutivo.

### **3.3 Parâmetros Fisiológicos**

Muitos índices vêm sendo utilizados para a avaliação do estresse térmico em animais, levando-se em conta a taxa respiratória, o volume de ar respirado, a pulsação, a temperatura de superfície corporal, a temperatura corporal interna, o nível de atividade, o tipo de cobertura e outras características fisiológicas. A temperatura do corpo, a taxa respiratória e o volume de ar respirado são as respostas ao estresse térmico mais utilizadas, isoladamente ou em combinação, para o desenvolvimento dos índices de conforto térmico (FEHR et al, 1983).

Segundo MACDOWELL (1972), o impacto do calor sobre as variáveis fisiológicas resulta em aumento percentual de 3,3% na temperatura retal e 94 movimentos/min na frequência respiratória, com alterações, respectivamente de 38,6°C para 39,9°C e de 32 para 94 movimentos/min.

### 3.3.1 Freqüência respiratória

Várias são as implicações do estresse sobre o sistema respiratório que é afetado de acordo com a espécie animal, essa diferença ocorre dependendo da capacidade de sudorese que a espécie possui. As espécies que não suam, como os caninos e suínos, possuem grande capacidade de aumentar a sua freqüência respiratória, enquanto que o cavalo e o homem, têm eficiente mecanismo de sudorese, produzem poucos movimentos respiratórios quando comparados às primeiras espécies citadas. Já os bovinos usam tanto a respiração quanto a sudorese para manter a sua homeotermia.

O aumento da freqüência respiratória é um dos mecanismos de defesa animal contra o estresse por calor. Os bovinos aumentam a sua freqüência respiratória, apresentando o ofego como complemento ao aumento da taxa de produção de sudorese, constituindo ambos, importantes meios de perda de calor por evaporação. (BACCARI JUNIOR, 2001).

De acordo com CUNNINGHAN (1999), os três primeiros mecanismos de adaptação fisiológica são a vasodilatação, seguida da sudorese e, por fim o ofego que apesar de ser o último dos três mecanismos, é o primeiro sinal visível característico das situações de estresse térmico.

A freqüência respiratória é um excelente indicador do estado de saúde, mas deve ser adequadamente interpretada porque pode ser influenciada pela espécie, idade, exercícios, excitação e fatores ambientais (REECE, 1988). Por isso, em condições ambientais normais, valores de freqüência respiratória com 60 mov./min são considerados como um bom indicador de conforto. No caso de vacas em lactação esse valor varia de 18 a 28 mov/min (ANDERSON, 1988). O aumento da freqüência respiratória, quando considerado por curto período, é um mecanismo eficiente de perda de calor, mas quando os valores ultrapassam 120 mov/min caracterizam que o animal está sofrendo com a carga excessiva de calor e acima de 160 mov/min as medidas de emergência no sentido de amenizar o estresse devem ser tomadas (HAHN e MADER, 1997).

### **3.3.2 Temperatura retal**

Devido às diferenças morfofisiológicas, pêlos, subpêlos, lã e penas, entre as espécies, a medição da temperatura retal tornou-se de grande praticidade, uma vez que esta medida pode ser feita em todas as espécies, caracterizando um importante indicativo na determinação da temperatura corporal. A temperatura retal apesar de ser uma medida de temperatura local, ainda assim é um bom indicador da temperatura corpórea dos animais.

A temperatura retal é usada freqüentemente como índice de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento mostra que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes, (MOTA, 1997).

A temperatura corporal é o resultado do equilíbrio entre a energia térmica produzida e a energia térmica dissipada, sendo que a temperatura retal é a forma mais fácil de estimá-la (LEGATES et al., 1991). Um aumento nessa temperatura significa que o animal está estocando calor, e se este não é dissipado, o estresse calórico manifesta-se (SOUZA et al., 2003).

A temperatura retal normal da vaca leiteira, em termoneutralidade e em repouso varia entre 38,0°C e 39,5°C (DU PREEZ, 2000). A variação da temperatura retal ocorre conforme a hora do dia, apresentando maiores valores no período da tarde do que no período da manhã, variando também com a idade do animal. Estudos realizados por MARTELLO (2002), mostraram que novilhas apresentam na maior parte do dia uma temperatura retal maior em comparação às vacas.

As vacas de alta produção em início de lactação são mais sensíveis ao estresse térmico e à produção de leite diminui significativamente quando a temperatura retal excede 39°C por mais de 16 horas (IGONO e JOHNSON, 1992).

### **3.3.3 Temperatura da superfície do pelame**

A pele protege o organismo do frio e do calor, o pelame dos animais desempenha um importante papel na adaptação e proteção contra o estresse climático. A melhor capacidade de adaptação, de uma espécie animal ou raça aos trópicos, está relacionada com o comprimento do pêlo, com a suavidade e cor. Um pêlo comprido e grosso retém muito ar entre a pele e o

meio, dificultando a perda de calor, enquanto que o pêlo liso, curto e suave facilita a perda de calor através da convecção (MULLER, 1989).

A superfície corporal apresenta temperatura mais variável e mais sujeita às influências do ambiente externo (SILVA, 2000). A temperatura da pele de vacas holandesas em lactação foi medida em dois ambientes térmicos. A condição quente foi considerada quando a temperatura do ar estivesse entre 27 e 28°C, e a condição fria foi considerada quando a temperatura alcançasse 23 a 24°C. Os resultados encontrados foram, respectivamente, 37,59 e 36,75°C (CAPPA et al., 1989). De acordo com MARTELLO et al., (2002), a temperatura da pele de vacas Holandesas alojadas em instalações climatizadas pode variar de 31,6°C (às 06h:00min.) a 34,7°C (às 13h:00min.), sem indicar que o animal está sofrendo estresse por calor.

FINDLAY (1950) afirma que a pele dos bovinos é um importante meio para a dissipação do calor por condução, radiação e por evaporação da água. BLACKSHAW e BLACKSHAW (1994) apontam a coloração do pelame como um importante mediador do impacto da radiação solar, pois afeta a troca de calor por convecção e evaporação do suor.

### **3.4 Bem-estar animal**

Este termo, bastante utilizado ultimamente, tem sido motivo de preocupação nas questões de ambiência, tornando-se um desafio dentro dos processos de produção animal. Segundo BROOM (1991), o bem-estar refere-se ao estado de um indivíduo em relação ao seu ambiente. Se o organismo falha ou tem dificuldade de se adaptar ao ambiente, isto é uma indicação de bem-estar incipiente.

Outras definições também foram descritas como: o bem-estar pode ser considerado baseado nas necessidades biológicas do animal (BRACKE et al., 2001 e HURNIK, 1992). O bem-estar é o estado de harmonia entre o animal e seu ambiente caracterizado por condições físicas e fisiológicas ótimas, e alta qualidade de vida do animal.

Para BROOM (1986) a qualidade do bem-estar animal pode ser também determinada pela percepção do estado do animal numa tentativa de se adaptar a seu ambiente. Os animais mantêm seu estado interno dentro de certos limites. Uma mudança em seu ambiente tomando qualquer valor, como por exemplo, uma temperatura corporal fora dos limites é expressa por

reações comportamentais e/ou fisiológicas. O estresse ocorre quando as tentativas de trazer o estado interno ao seu ótimo falham persistentemente (TOATES, 1995).

Uma definição de bem-estar bastante utilizada hoje foi estabelecida pela FAWC (Farm Animal Welfare Council), na Inglaterra, mediante o reconhecimento das cinco liberdades inerentes aos animais;

A liberdade fisiológica - ausência de fome ou de sede;

A liberdade ambiental - edificações adaptadas;

A liberdade sanitária - ausência de doenças;

A liberdade comportamental - possibilidade de exprimir comportamentos normais, e;

A liberdade psicológica - ausência de medo ou ansiedade.

Assim como a definição das cinco liberdades na tentativa de se criar um ambiente mais adequado aos animais em confinamento, outro índice chamado TGI (*Tiergesundheitsindex*) usado para medir a saúde animal, é aplicado em fazendas orgânicas da Alemanha e da Áustria, levando em consideração alguns aspectos como a possibilidade de movimentação do animal, oportunidades de contato social, condições do piso, condições climáticas internas dentro do confinamento, e os cuidados com o manejo. O TGI pode ser considerado como um código de boas práticas de bem-estar para aplicação em fazendas (NORDHUIZEN, 2004).

Segundo GRANT e ALBRIGHT (1995), o objetivo primário de todos os animais é de se alimentarem, assim, os conceitos básicos de alimentação, associados ao conhecimento do comportamento, devem ser utilizados para melhorar seu bem-estar e sua produtividade.

Em verdade, mediante diversas formas de comportamento, as vacas buscam seu bem-estar. Desta forma, cabe ao homem auxiliar os animais, provendo-lhes um ambiente que seja ao mesmo tempo confortável e produtivo (BACARI JUNIOR, 2001).

### **3.5 Índices de conforto térmico**

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para caracterizar e quantificar as zonas de conforto adequadas às diferentes espécies animais, apresentando em uma única variável, tanto os valores meteorológicos (temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do

vento e radiação solar) como o estresse que tal ambiente possa estar causando no momento (CLARK, 1981).

NÄÄS (1989) propôs a seguinte classificação para os índices de conforto térmico:

- Índices biofísicos: baseiam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor que os originam;
- Índices fisiológicos: baseiam-se nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura ambiente, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar;
- Índices subjetivos: baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em que os elementos de conforto variam.

Muitos trabalhos têm sido feitos através da utilização de índices de conforto que relacionam diferentes variáveis climáticas. BUFFINGTON et al (1981) desenvolveram o índice de globo negro e umidade o ITGU, a partir da substituição da temperatura de termômetro de bulbo seco pela temperatura do globo negro, em umas das fórmulas do ITU (índice de temperatura e umidade). Esse índice é também usado como um índice de conforto térmico para vacas leiteiras expostas à radiação solar direta e indireta.

O ITU foi desenvolvido por THOM (1959) como um índice de conforto para humanos. Posteriormente, foi utilizado para descrever o conforto térmico para animais, desde que JOHNSON et al. (1962) observaram quedas significativas na produção de vacas leiteiras associadas ao aumento no ITU.

Esse índice pode ser calculado a partir da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do ar, conforme descrito por JOHNSON (1980), assim:

$$ITU = T_{bs} + 0,36 T_{po} + 41,2 \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo que:

$T_{bs}$  = temperatura de bulbo seco, °C

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

A partir da identificação dos valores do ITU, foi desenvolvida uma Tabela, mostrada na Tabela 1, relacionando temperatura e umidade para determinado valor de ITU, sendo esta Tabela utilizada por NIENABER e HAHN (2004) para medir e avaliar condições de estresse em confinamentos de gado de corte, gado de leite e suínos.

Tabela 1. Categorias do ITU com relação a variáveis climáticas para bovinos e suínos em confinamento (USDC-ESSA, 1970).

		Umidade Relativa %																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatura °C	20	63	63	63	64	64	64	64	65	65	65	66	66	66	66	67	67	67	67	68	68
	22	65	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
	24	66	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
	26	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	77	77	78	78	79
	28	70	70	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
	30	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
	32	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90
	34	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
	36	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	97
	38	78	79	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100
	40	80	81	82	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104

Os valores de ITU menor ou igual a 74 caracterizam situação normal, em alerta de 75 a 78, perigo 79 a 83 e de emergência quando for maior ou igual a 84.

Os limites para caracterização de situações de estresse e conforto divergem entre diversos autores. Para ROSEMBERGER et al., (1983) um ITU entre 79 e 84 classifica uma situação de perigo, principalmente para gado confinado IGONO e JOHNSON (1992) caracterizou o ITU acima de 78 como estressante. Essas variações entre os intervalos podem ser vistas também em outras Tabelas como em *Livestock Weather Safety Index (LWSI)* do *Livestock Conservation Institute/US* que classificou os valores de ITU em categorias de riscos para vacas, conforme Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2. Classificação dos valores do ITU para animais domésticos, descrita por Livestock Weather Safety Index ( DU PREEZ et al., 1990).

Valor do ITU	Categoria LWSI
<70	Normal
71-78	Alerta
79-83	Perigo
>83	Emergência

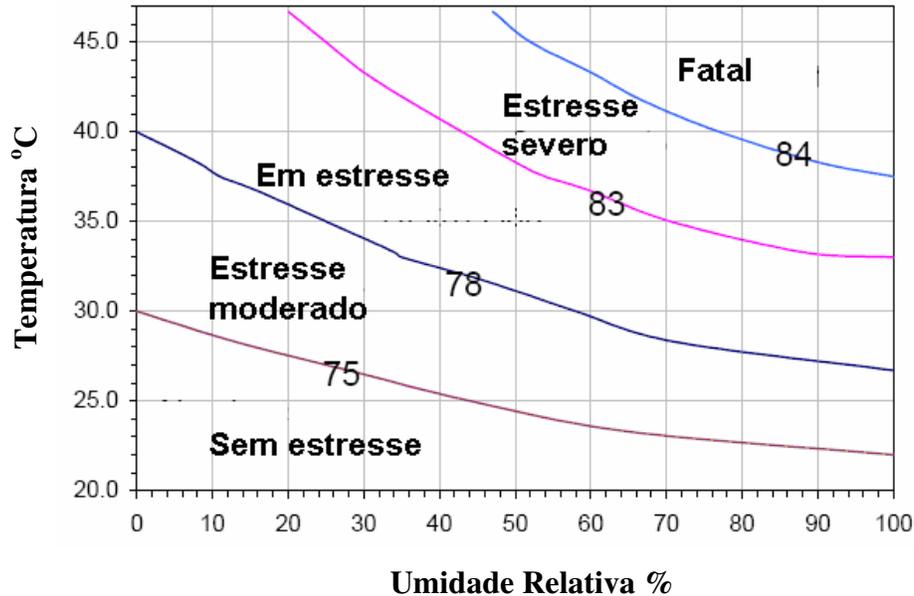


Figura 3. Relação entre umidade relativa e temperatura para estimar o ITU e interpretar os níveis de estresse a partir do valor calculado (ARMSTRONG, 1994).

Apesar da variação entre as categorias, todos concordam que os valores acima de 80 causam danos à produção.

Para HUHNKE et al. (2001), o ITU quando se encontra acima de 76 durante a noite, indica uma situação de perigo para o gado em confinamento.

JOHNSON (1965) relatou que a produção de leite e a ingestão de matéria seca decresceram significativamente, quando o ITU apresentou valor máximo de 77.

Em estudo realizado por SOUZA et al. (2002), com 25 vacas da raça Holandesa, multíparas e puras por cruzamento, de produção média diária variando no período de 12,98 a 33,32 kg dia<sup>-1</sup>, alojadas em sistema *freestall*, foram calculados os valores de ITU para os horários das 08h00min, 11h00min, 14h00min e 17h00min. Os resultados obtidos foram diferentes dos encontrados por Johnson (1965) e, embora não tenha havido uma variação alta dos valores de ITU, a variação do declínio se manteve crescente para as vacas menos produtivas. Enquanto que, para as mais produtivas, observou-se que houve uma tendência de queda do declínio na produção de leite, com a variação do ITU.

Mostrando correlação com o declínio na produção (Figura 4). As respostas obtidas estão na proporção inversa, ou seja, à medida que o ITU aumenta, diminui a produtividade das vacas, resultados esses semelhantes aos encontrados por JOHNSON (1965).

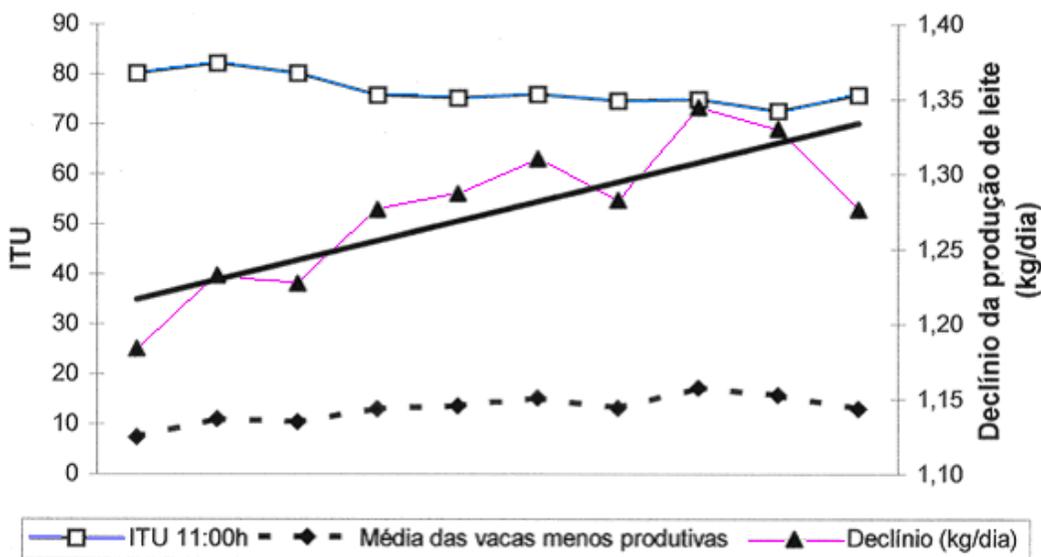


Figura 4. Relação da queda de produção de leite em função do ITU medido às 11h00min. (SOUZA, 2002).

WEST (2003) relatou a influência do ambiente térmico na produção de leite nos dois dias que precederam a ocorrência do estresse, isso porque as respostas na produção podem não ser imediatas à ocorrência do evento, neste caso foi observado declínio de 0,88 kg por unidade de aumento de ITU acima de 72.

### 3.6 Aquecimento Global e Fenômenos Climáticos

Fenômenos climáticos de dimensões sem precedentes registrados nos últimos anos fizeram aumentar as preocupações na sociedade, pois estão de acordo com as projeções dos cientistas, segundo as quais qualquer mudança quanto ao clima médio, afetará inevitavelmente a frequência de acontecimentos climáticos extremos tais como ondas de calor e chuvas intensas.

Segundo HOUGHTON et al. (2001), a média global da temperatura da superfície da terra e do mar aumentou de  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  no século 20. Cientistas da Nasa (Agência Espacial Norte-Americana) confirmaram que a terra está esquentando cada vez mais. Em estudos que utilizaram imagens obtidas por satélites, os pesquisadores constataram que a temperatura média global aumentou  $0,43^{\circ}\text{C}$  por década, entre os anos de 1981 e 1998.

De acordo com FOLLAND et al. (2001), desde 1861, a partir de quando foi possível monitorar, constatou-se que a temperatura superficial da terra vem aumentando até  $0,6^{\circ}\text{C}$  acima da média, observável principalmente nas décadas dos anos de 1910, 1940, e 1990 (Figura 5), também devido a um efeito antropogênico.

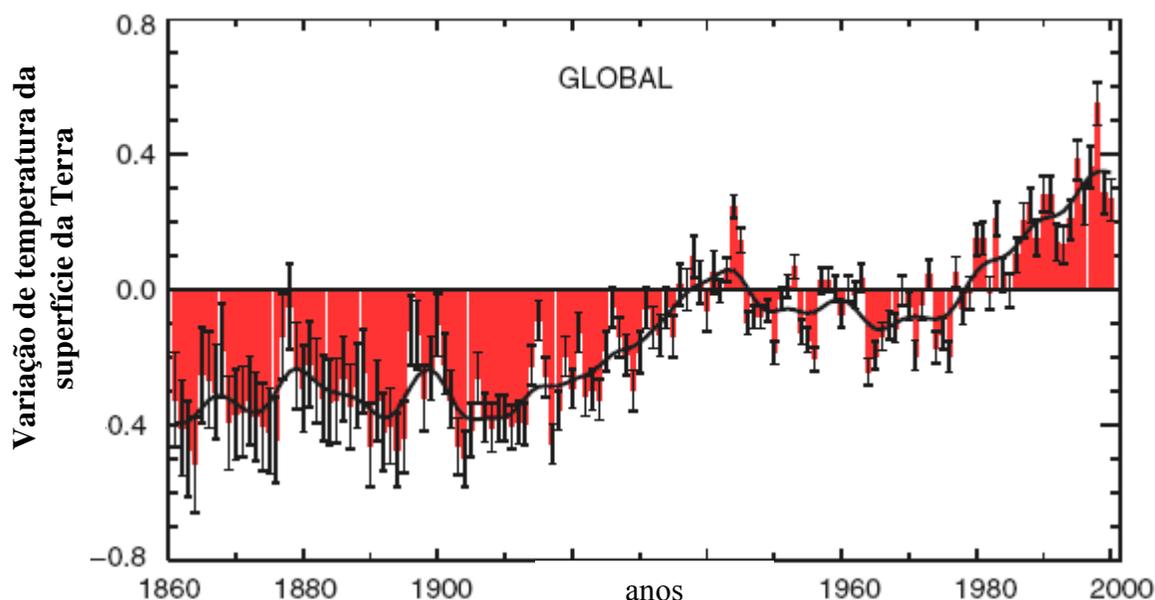


Figura 5. Variação da temperatura superficial da Terra nos últimos 140 anos em Graus Celsius a partir da média (FOLLAND et al., 2001).

Havendo uma nova e forte evidência de que muito deste aquecimento observado nos últimos 50 anos está atribuído às atividades humanas, isto resultará futuramente em maior número de temperaturas acima das médias com maior probabilidade de ocorrência. A mudança climática global está acompanhada provavelmente por um aumento na frequência e

intensidade das ondas de calor tanto quanto por verões mais quentes e invernos menos rigorosos, como mostra a Figura 6.

As mudanças climáticas, particularmente as oscilações de temperatura, implicam em uma mudança na distribuição estatística das mesmas, alterando o formato da distribuição normal ou mudando de posição desta curva devido a uma elevação da média, da variância ou até mesmo de ambas, onde a Figura 6 apresenta a representação esquemática de dois cenários de mudança climática, com a elevação das temperaturas médias, ocorrendo maior número de eventos climáticos de calor extremo. A distribuição normal mais achatada ou deslocada para uma temperatura média mais elevada implica na aceitação que estes fenômenos meteorológicos extremos tendem a ocorrer com maior frequência (FOLLAND et al., 2001).

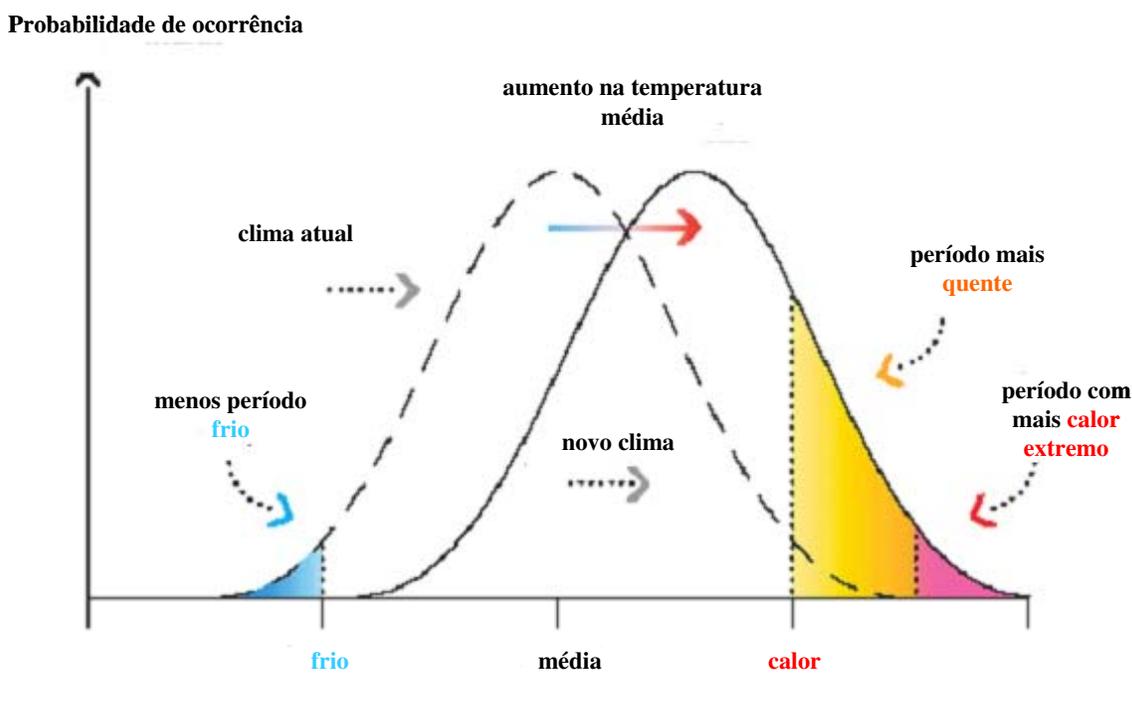


Figura 6. Comparação da mudança climática em relação à duração frio-calor (HOUGHTON et al., 2001).

Segundo HAJAT et al. (2002), quando as ondas de calor ocorrem no início da estação quente, os seus efeitos são maiores do que aquelas que ocorrem no final da estação, apresentando altas taxas de mortalidade, pois os organismos não tiveram a chance de passar pelo processo adaptativo de aclimação.

As ondas de calor frequentemente ocorrem em situações sinópticas com um pronunciado desenvolvimento de lento movimento de massa de ar, levando a um estresse térmico intenso e prolongado. Entretanto, mesmo quando for um episódio curto ou moderado adversamente afeta a saúde humana e animal.

### **3.7 Ondas de calor na produção animal**

De acordo com o Glossário de Meteorologia (AMS, 1989), onda de calor é um período de calor desconfortável anormal geralmente acompanhado de alta umidade relativa com duração de pelo menos um dia, mas convencionalmente se estendendo por alguns dias ou mesmo semanas.

NIENABER et al. (2003) apresentam uma definição operacional que é frequentemente usada para onda de calor como sendo um evento que ocorre de três a cinco dias consecutivos com temperaturas máximas acima de 32°C. Apesar destas definições outras sugerem que em determinadas regiões a seqüência de dias acima de um ponto crítico possa não ser das máximas, mas sim com elevação das temperaturas mínimas (MEEHL e TEBALDI, 2004).

De acordo com o IPCC (2001) as ondas de calor serão mais comuns com o aquecimento global, tendendo a aumentar em frequência e intensidade. O impacto do calor intenso no verão tende a ser exacerbado pela maior umidade, devido às chuvas mais intensas.

As primeiras perdas registradas na produção animal em decorrência das ondas de calor datam de 1977, no Sul da Califórnia nos Estados Unidos, onde mais de 700 vacas de leite morreram durante uma onda de calor, seguida de alta umidade (OLIVER et al., 1979). Outros eventos em 1992, 1995 e 1999 em Nebraska, e Iowa em 1995 (NIENABER e HAHN, 2004), onde as perdas econômicas do último evento em Nebraska ultrapassaram os 20 milhões de dólares. Uma característica deste evento extremo é que o valor do ITU durante as ondas de calor esteve na maioria das horas de um dia de evento acima de 84 (situação de emergência), sendo observado também nestes períodos as altas temperaturas mínimas, ou seja, altos valores de ITU também no período noturno, não tendo as horas mais amenas para os animais se recobrem do estresse sofrido durante o período do dia, causando com isso a morte destes animais. Esses valores são distintos para o dia e noite, ou seja, valores que durante o dia encontravam-se em uma classificação de perigo, ou de alerta, passam a ter uma maior

expressividade se persistem durante a noite em dias seguidos. Segundo SCOTT et al. (1983) o valor de ITU para noite acima de 70 já passa a ser prejudicial, quando durante o dia os animais estiveram expostos a valores das categorias de emergência. Os trabalhos atuais investigam as ondas de calor em associação aos valores de ITU, através de dados meteorológicos históricos de determinadas regiões, para com isso visualizar o potencial perigo que estas regiões sofrem em decorrência de maior aparição de ondas de calor. HUHNEKE et al. (2001) pesquisaram a frequência e duração do ITU em Oklahoma nos Estados Unidos, para isso utilizaram dados dos verões de sete anos de 17 estações meteorológicas, observando assim, as localidades com maior número de horas de eventos estressantes e definindo estas regiões através dos valores encontrados. NIENABER et al. (2003) fizeram um levantamento do número de ondas de calor ocorridas em Nebraska, para isso definiram o evento em todas as horas dos dias com ITU acima de 70 com duração de no mínimo três dias consecutivos, identificando a intensidade e duração das ondas para então classificá-las em eventos de leves a extremos. Com isso, encontraram em dados históricos de 43 anos: 3 eventos considerados de pouca duração, 15 suaves, 14 moderados, 3 fortes, 7 severos e nenhum extremo.

### **3.8 Zoneamento climático**

O território brasileiro possui grandes áreas com potencial produtivo para agropecuária, ao mesmo tempo apresenta diferentes condições climáticas em cada uma de suas regiões, o que torna necessário obter informações técnicas adequadas com a realidade e clima de cada uma delas para que possam viabilizar de maneira econômica a pecuária brasileira.

Segundo PIRES et al. (2003), a avaliação dos efeitos ambientais, principalmente do clima, sobre os animais, torna-se prioritário, uma vez que o impacto do calor é significativo, particularmente para animais de alta produção. A previsão dos prejuízos que o ambiente climático pode causar ao desempenho e ao bem-estar dos bovinos de leite, bem como as perdas econômicas resultantes desse processo, são essenciais para se tomar decisões racionais relacionadas à seleção e manejo dos animais em seus respectivos ambientes. O zoneamento climático aparece, portanto, como condição básica no êxito das atividades agropecuárias.

De acordo com CAMPOS et al. (2004), o clima é, sem dúvida, um dos fatores de maior importância para a realização de programas agropecuários. Sabe-se que os elementos

climáticos que atuam com maior intensidade na distribuição de animais domésticos são os que regulam a distribuição e o crescimento das plantas e os que influenciam diretamente sobre os animais (temperatura ambiental, umidade do ar, precipitação pluvial, radiação solar, ventos). Entre eles, somente três (temperatura, umidade e precipitação pluvial) são os que provavelmente determinam a distribuição dos animais. Nenhum elemento meteorológico é tão importante para os seres vivos do que a temperatura, que exerce influência marcante sobre a distribuição humana, de animais e de vegetais na terra.

A necessidade de zoneamentos ocorre devido às diferenças climáticas existentes entre as regiões, para que os sistemas e a tecnologia existentes possam ser adaptados às condições locais. Segundo SILVA (1999), devem ser considerados: a raça dos animais, sua fase de desenvolvimento, os níveis tecnológico e de produção, as características climáticas e de relevo das regiões, para que dessa forma determine-se um ponto muito importante que é a antecipação do problema.

### **3.9 Resfriamento Evaporativo**

Muito se tem desenvolvido e pesquisado sobre os sistemas de climatização para instalações animais, no sentido de proporcionar conforto térmico e conseqüentemente maior produção. De acordo com SILVA (1998) esse conceito de climatização tem relação direta com as qualidades que seriam ideais para aqueles que usufruirão desse ambiente associado com as determinações de conforto térmico.

Os sistemas de climatização para instalações são feitos através de mecanismos artificiais, que se referem basicamente a sistemas de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), ou seja, são sistemas mecânicos para a redução da temperatura do ambiente com a utilização de vapor d'água como elemento de refrigeração. Esse processo de saturação adiabática, visualizado na Figura 7, tem seqüência ao longo de uma linha de temperatura de bulbo úmido constante no gráfico psicrométrico. O ponto referente ao estado A representa o ar não saturado na fase inicial de acionamento do SRAE. Se houvesse saturação, o ponto se deslocaria até B, entretanto, isso não ocorre devido à eficiência dos sistemas, deslocando-se somente até C. Neste processo, a temperatura do bulbo úmido permanece constante, mas ocorre redução na temperatura do bulbo seco com conseqüente aumento na umidade relativa.

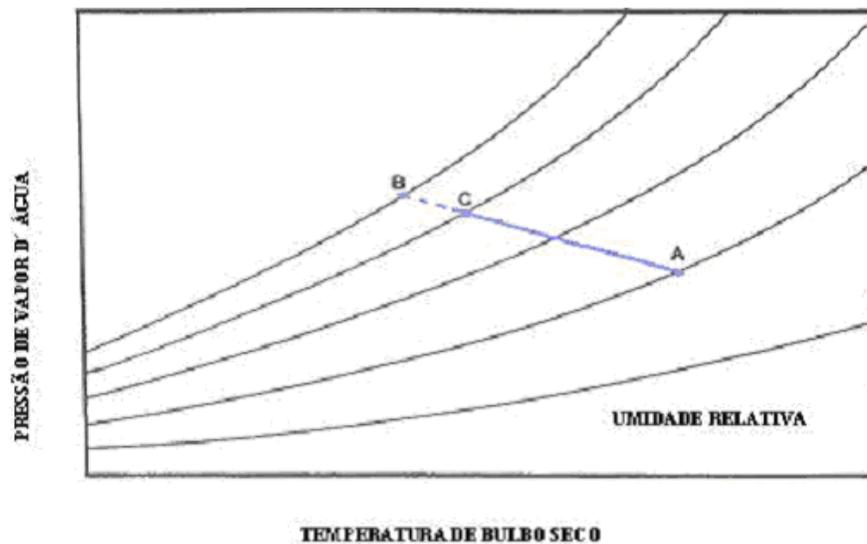


Figura 7. Desempenho do resfriamento adiabático evaporativo mostrado pelo gráfico psicrométrico (SILVA, 1998).

Os sistemas de resfriamento evaporativo (SRAE) foram classificados da seguinte maneira:

- “*Fogging*” é um sistema de nebulização sob alta pressão que apresenta um tamanho bem reduzido das gotas;
- “*Misting*” é um sistema de nebulização sob média pressão apresentando o tamanho das gotas maiores e sua evaporação ocorre à medida em que vão caindo no solo;
- “*Sprinkling*” sistema de aspersão, onde não ocorre o resfriamento do ar, pois suas gotas são largas; o resfriamento do animal ocorre com a evaporação da água que foi aspergida sobre pêlo e a pele, permitindo uma maior perda de calor pelo animal.

Segundo MARQUES (1992), um nebulizador com boa calibração pode dividir uma gota d’água em aproximadamente 611 gotículas com diâmetro de 0,5 milímetros. BRAY et al. (1994) mostraram aumento de 11,7% na produção de vacas leiteiras em *freestall* climatizado com ventiladores e nebulizadores.

CHASTAIN e TURNER (1994) mencionaram que o efeito do estresse calórico na produção diária de vacas submetidas à ventilação associada à aspersão, em local sombreado,

pode ser reduzido assim como sua temperatura retal de 0,2 a 0,5°C e sua taxa respiratória em 29% , enquanto o consumo de alimento é aumentado em 7,8%, juntamente com um aumento de 12% na produção de leite. Também BUCKLIN et al. (1991), afirmaram que o resfriamento das vacas, através do uso de aspersores de água associados à ventilação forçada, proporcionou resultados benéficos com relação ao consumo de alimentos, produção de leite, temperatura retal e respiração.

Quanto à eficiência dos sistemas, para BUCKLIN e BRAY (1998), a grande vantagem do sistema de nebulização em relação ao sistema de aspersão é que quando o sistema de nebulização está bem ajustado, mantém o piso seco, evitando doenças de cascos e o desperdício de água.

## **4 METODOLOGIA**

O trabalho proposto foi realizado no Laboratório de Conforto Térmico I da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp - FEAGRI.

O experimento teve como objetivo realizar uma estimativa e um levantamento dos eventos com temperaturas extremas ocorridas nas principais áreas de produção leiteira do estado de São Paulo. São Paulo está situado na latitude Sul 21° 49' e longitude Oeste 49° 12'.

O zoneamento do estado em função da ocorrência de ondas de calor foi baseado no cálculo do Índice de temperatura e umidade, (ITU) e nas perdas da produção leiteira (DPL) ocasionadas por essas mudanças climáticas extremas, utilizando metodologia adaptada de HUHNIKE et al. (2001). O experimento foi dividido conforme a descrição a seguir:

### **Levantamento dos dados históricos**

Foi realizado um levantamento dos dados climáticos (temperatura de bulbo seco e umidade relativa) de períodos variando de 3 a 10 anos, obtidos das seguintes bases de dados: CPTEC-INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e do posto meteorológico LCE/ Esalq/ USP (Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”), totalizando 23 estações meteorológicas apresentadas na Tabela 3 e distribuídas espacialmente de acordo com a Figura 8. A quantidade de estações utilizadas encontra-se dentro de um intervalo considerado representativo, em que PIRES et al. (2003) consideraram para o estado de São Paulo 28 estações enquanto que no Estado de Oklahoma, situado nos Estados Unidos da América,

HUHNKE et al. (2001), utilizaram 17 estações meteorológicas. As 23 estações meteorológicas foram selecionadas para representar todo o território do estado de São Paulo.

Tabela 3. Identificação das estações meteorológicas utilizadas para representar o estado de São Paulo.

Localidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Intervalo de anos	Altitude (m)
Barretos	-20.422	-48.567	1997-2006	530
Bauru	-22.314	-49.060	2002-2006	526
Cachoeira Paulista	-22.395	-45.003	1996-2006	521
Campos do Jordão	-22.44	-45.32	2000-2006	1628
Caraguatatuba	-23.371	-45.244	2000-2006	2
Cruzeiro	-22.34	-44.57	1998-2006	517
Cunha	-23.042	-44.573	2000-2006	950
Franca	-20.538	-47.400	2003-2006	996
Garça	-22.123	-49.392	2004-2006	683
Guaratinguetá	-22.485	-45.113	2000-2006	530
Iguape	-24.708	-47.555	2004-2006	3
Itu	-23.155	-47.175	2003-2006	583
Jaboticabal	-21.151	-48.192	2004-2006	605
Jaú	-22.174	-48.332	2003-2006	522
Miguelópolis	-20.104	-48.015	2003-2006	510
Monteiro Lobato	-22.572	-45.502	1999-2006	685
Paraibuna	-22.01	-43.17	2001-2006	635
Presidente Prudente	-22.125	-51.388	2003-2006	475
Queluz	-22.321	-44.462	2000-2005	471
São Carlos	-22.017	-47.890	2003-2006	856
São José do Barreiro	-22.384	-44.344	2000-2006	510
Silveiras	-22.395	-44.511	2000-2006	615
Taquarivaí	-23.552	-48.413	2003-2006	555
Votuporanga	-20.252	-49.582	2003-2006	525

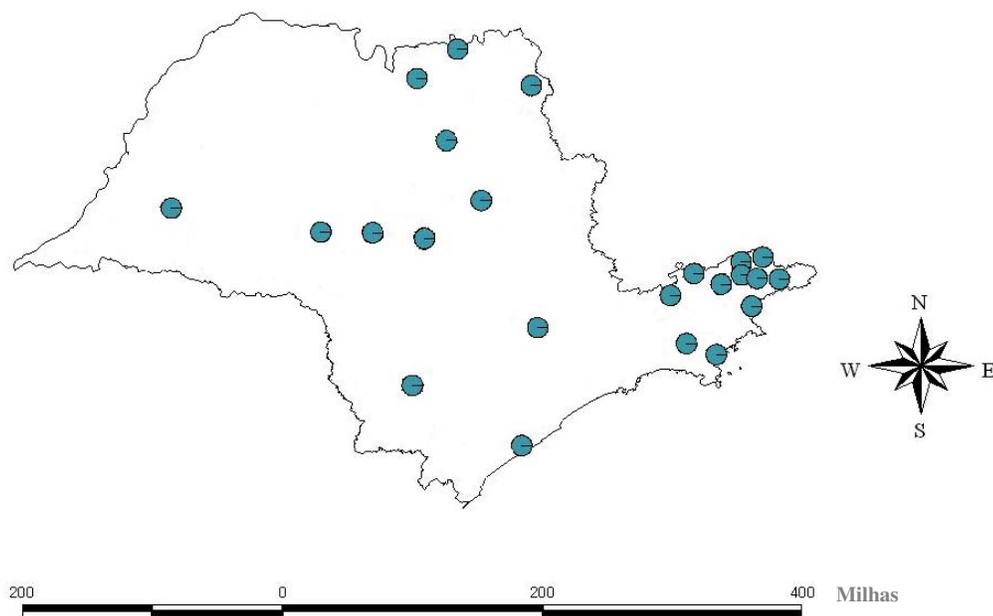


Figura 8. Visualização espacial da distribuição das estações meteorológicas.

#### 4.1.1 Os Dados utilizados

Foram utilizadas no levantamento as temperaturas do ar, máxima e mínima e umidade relativa horária coletadas em 8 horários diferentes por dia (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00). Posteriormente, com a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa foi calculada a temperatura do ponto de orvalho a partir das Equações 2, 3, e 4

$$\begin{aligned}
 P_{ws} = & \exp\left(\frac{-5800,2206}{(T_{bs} + 273,15)}\right) + (1,3914993) + ((-0,048640239) \cdot x \\
 & x(T_{bs} + 273,15)) + ((0,000041764768) \cdot x(T_{bs} + 273,15)^2) + ((-0,00000001445093) \cdot x \\
 & x(T_{bs} + 273,15)^3 + ((6,5459673) \cdot x \cdot \ln((T_{bs} + 273,15))))
 \end{aligned}
 \tag{Equação (2)}$$

Em que:

$P_{ws}$  = Pressão de Saturação, Pa;

exp = Exponencial;

$T_{bs}$  = Temperatura de Bulbo Seco, °C;

Ln = Logaritmo Natural.

$$P_w = UR / P_{ws} \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

$P_w$  = Pressão de Vapor, Pa;

$UR$  = Umidade Relativa, %.

$$T_{po} = -35,957 - 1,8726 \times \ln(P_w) + 1,689 \times (\ln(P_w))^2 \quad \text{Equação (4)}$$

Em que:

$T_{po}$  = Temperatura do Ponto de Orvalho, °C.

#### **4.1.2 Cálculo do Índice de Temperatura e Umidade**

A partir dos dados climáticos obtidos ( $T_b$ s e  $UR$ ) e calculada a ( $T_{po}$ ), foi determinado o Índice de temperatura e umidade (ITU), de acordo com a Equação 1. A classificação dos valores médios de ITU nas diferentes categorias seguiu a Tabela 1 para descrição dos valores de segurança do ITU segundo USDC-ESSA (1970).

#### **4.2 Definição de Onda de Calor**

A caracterização de onda seguiu as definições aplicadas por NIENABER e HAHN, (2004), HUHNEKE, et al. (2001), HUBBARD, et al. (1997). A princípio foram selecionadas todas as possibilidades de ocorrência de onda. Para esta caracterização preliminar o valor considerado do ITU foi de 81, tendo essa condição ocorrido em no mínimo três dias consecutivos, e o valor de 81 ter ocorrido em pelo menos um horário de cada dia correspondente. Na segunda condição imposta, agora considerando o provável evento como onda de calor, adicionou-se ao valor de ITU maior ou igual a 81 à condição desse valor ter sido alcançado com uma temperatura acima ou igual a 32°C, ainda em três dias consecutivos, segundo a definição do AMS (1989).

#### 4.2.1 Cálculo da Magnitude da Onda de Calor

Após a identificação do evento climático extremo, a onda de calor, foi calculada a sua magnitude, isto é, o quão intensa ela foi, de acordo com o valores alcançados acima de 81 e a sua duração em horas por evento, Equação 5.

$$Magnitude = \sum (ITU \geq 81) - 81 \times \sum (\text{número de horas}) \quad \text{Equação (5)}$$

No cálculo da magnitude foram somados todos os valores de ITU maior ou igual a 81 diminuídos do somatório do número total de horas com  $ITU \geq 81$  multiplicados pelo valor constante, aqui considerado valor crítico, 81.

#### 4.2.2 Cálculo das Perdas Estimadas na Produção Leiteira (DPL)

Foi realizada a simulação das perdas na produção de leite oriundas das ocorrências de ondas de calor, utilizando a seguinte fórmula, desenvolvida por BERRY et al. (1964), Equação 6.

$$DPL = -1,075 - 1,736(PN) + 0,02474(PN) \cdot (ITU) \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

DPL = declínio absoluto na produção de leite (kg/vaca/dia)

PN = nível normal de produção de leite (kg/vaca/dia)

ITU = valor médio do Índice de temperatura e umidade (adimensional) medido durante o evento extremo, a onda de calor.

Esta resposta ao agente estressor, ambiente térmico, foi calculada através de observações das lactações de vacas leiteiras após sua exposição durante vários dias sob um regime de temperatura e umidade controladas em câmara climática (NIENABER e HAHN, 2004).

### 4.3 Zoneamento Bioclimático

Para o zoneamento do estado de São Paulo, foram considerados os valores do ITU médio obtidos através dos dados das estações meteorológicas, onde pelo menos uma estação representou a mesorregião onde ela está localizada. Como visto na Figura 8, há regiões com maior concentração de estações meteorológicas, nestes casos a média das estações foi utilizada para se encontrar o ITU médio. Após a obtenção do ITU médio sob esses aspectos, foi analisada descritivamente a sua distribuição nos últimos três anos (2003, 2004 e 2005).

Foi representado graficamente para cada estação meteorológica utilizada os seguintes valores calculados:

- ITU médio e a sua distribuição ao longo dos anos nas regiões representadas pelas estações meteorológicas;
- Valores médios do ITU para as categorias de alerta, perigo e emergência e o número de horas para cada categoria;
- Valor médio do ITU noturno considerando valores superiores a 76 (situação de “perigo” quando este valor ocorre no período noturno), e o número de horas nesta condição;
- Análise descritiva da ocorrência de ondas de calor em cada estação.

No zoneamento o estado de São Paulo também foi dividido de acordo com as suas principais regiões produtoras de leite, chamadas de bacias leiteiras. A avaliação destas regiões e a comparação bioclimática entre as mesmas foram delimitadas de acordo com a distribuição das estações meteorológicas, onde pelo menos uma estação foi utilizada para representar uma bacia leiteira, (Tabela 4).

Tabela 4: Principais bacias leiteiras do estado e as estações representativas.

<i>Bacia leiteira</i>	Localidades
Ribeirão Preto São José do Rio Preto	Barretos, Franca, Jaboticabal, Miguelópolis, Votuporanga
<b>Vale do Paraíba Paulista</b>	Cachoeira Paulista, Campos do Jordão, Caraguatatuba, Cruzeiro, Cunha, Guaratinguetá, Monteiro Lobato, Paraibuna, Queluz, São José do Barreiro, Silveiras

Assim como para as estações meteorológicas, a caracterização das bacias dentro do zoneamento bioclimático deu-se através das seguintes comparações:

- ITU médio de cada bacia;
- Valores médios do ITU para as categorias de alerta, perigo e emergência;
- Valor médio do ITU noturno considerando valores superiores a 76 (situação de “perigo” quando este valor ocorre no período noturno);
- Avaliação da distribuição do ITU médio nas estações meteorológicas pertencentes à Bacia leiteira do Vale do Paraíba;
- Simulação das perdas produtivas em cada bacia através do cálculo do DPL usando o ITU médio encontrado durante as ondas de calor.

O maior número de estações meteorológicas localizadas na região do Vale do Paraíba permitiu que se obtivesse um volume de dados bem maior do que nas outras regiões. O estudo observacional desta bacia leiteira foi então realizado através da análise exploratória de dados utilizando os gráfico de pontos discriminados, relacionando a ocorrência de ITUs médios e máximos ao longo dos anos, permitindo a avaliação da tendência dos pontos avaliados. Também foram construídos *boxplot* comparando o DPL médio das bacias leiteiras, (Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Vale do Paraíba), durante os eventos de ondas de calor.

#### **4.4 Validação**

A validação da simulação de perdas na produção leiteira, em função do ITU foi realizada na fazenda Campestre, situada no município de São Pedro, latitude 22°32'55" Sul e longitude 47°54'50" Oeste, estando a uma altitude de 550 metros. O município apresenta clima quente e úmido, segundo classificação Koppen, com estação chuvosa no verão e seco no inverno. Seus valores médios anuais de pluviosidade e temperatura são, 1200mm e 22 °C respectivamente.

Para validação da eficiência do ITU diante da produção de leite de animais confinados, foram utilizados dados horários de temperatura de bulbo seco e umidade relativa coletados em *data-logger* da marca HOBO<sup>®</sup>, durante 24 dias consecutivos do mês de março de 2005. A

coleta e armazenamento dos dados era feita a cada 15 min. Estando o *data-logger* instalado no centro geométrico do galpão a 2,5 m do piso.

Os dados de produção foram obtidos junto ao controle leiteiro da fazenda que possui animais da raça Holandesa (produção média de 30 L.animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>), mantidos totalmente confinados em galpão tipo *freestall*, mostrado nas Figuras 11 e 12.

O *freestall* utilizado possui 120m de comprimento e largura total de 28m tendo capacidade para alojar 240 animais adultos. Possui aproximadamente 9 m de altura na parte central e 3,5 m nas laterais. O corredor central possui 2,92 m de largura e o telhado é coberto com telhas cerâmicas. A cama de descanso dos animais possui 1,10 m de largura e 2,12 de comprimento, sendo constituída de borracha de pneu, coberta com tecido impermeável e pó de serra.



Figura 9. Vista do galpão tipo freestall da fazenda usada para validação.

Figura 10. Vista lateral do galpão.

A ordenha era realizada em três horários 3h:00min, 10h:00min e 17h:00min em um sistema tipo carroussel. O animal permanecia 30 minutos na sala de espera que era equipada com ventiladores e aspersores para evitar com isso o estresse térmico dos animais no período que antecede a ordenha.

O galpão contava com equipamentos de climatização (ventiladores e aspersores) localizados nas áreas de comedouro e camas. O galpão em estudo apresentava ventiladores com diâmetro de 0,9 m, espaçados a cada 11,0 m, equipados com motor de ¼ CV, vazão de

300 m<sup>3</sup> hora, 495 RPM, capacidade de produzir movimentação de ar de até 2,5 m. s<sup>-1</sup>. Na área de alimentação esses ventiladores foram fixados a altura de 2,5 m e na área de descanso (camas) a 2,0 m. Os ventiladores foram acionados por meio de um termostato toda vez que a temperatura no interior do galpão atingia 25°C.

O sistema de aspersão foi montado em toda extensão do galpão, na altura de 2,5 m acima da linha de alimentação (comedouros), constituído por tubo de PVC, com espaçamento entre bicos de 1,0 m. Este sistema é acionado por uma bomba com motor trifásico. A vazão da água na linha de aspersão é de 30 L.h<sup>-1</sup> e com intermitência de 12 min.

Para a validação do declínio na produção de leite (DPL), primeiramente trabalhou-se com os dados de ITU médio diário em relação à produção média por animal. Selecionou-se o valor do ITU maior ou igual a 74, uma vez que este valor encontra-se na categoria de alerta e segundo, WEST (2003), JOHNSON (1980), IGONO e JOHNSON (1992) o valor acima de 72 já causa redução na produção dependendo do nível de produção do animal. A partir do valor de produção diária média (aqui considerado como nível de produção normal) foi aplicada a fórmula para predição do declínio na produção de leite (DPL), proposta por BERRY et al. (1964). A fórmula foi então aplicada para as condições de valor do ITU maior que 74, após essa condição obteve-se o DPL estimado.

Para a análise do comportamento do DPL estimado foi feita a comparação com a perda produtiva observada na fazenda. A partir de então se estabeleceu a análise comparativa entre DPL estimado e DPL observado para tanto foi realizada uma análise exploratória de dados utilizando um histograma de comparação entre DPL estimado e DPL observado além do teste T de comparação de médias, com P = 0,0001.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pesquisas sobre o zoneamento de áreas de risco à produção leiteira foram desenvolvidas em várias países como Estados Unidos da América, HUHNEKE et al. (2001), HUBBARD et al. (1997), NIENABER e HAHN (2003), RAVAGNOLO e MISZTAL (2002), Argentina, RIVAS e GARNERO, (1990), África do Sul, DU PREEZ et al. (2003) e Brasil, PIRES et al. (2003) e TURCO et al. (2006).

Os dados utilizados neste estudo foram oriundos de 23 estações meteorológicas distribuídas pelo estado de São Paulo. PIRES et al. (2003) realizaram um zoneamento bioclimático na região Sudeste utilizando 102 estações, e admitiram que a distribuição geográfica das estações meteorológicas e a escassez de dados meteorológicos em grandes áreas limitam estudos suficientemente detalhados. Desta forma, utilizando 23 estações meteorológicas, considerou-se que tais pontos sejam representativos de grandes áreas do estado de São Paulo.

De acordo com a distribuição do ITU médio anual dentro das mesorregiões do estado, representada na Figura 11, constata-se que as regiões a Noroeste do estado apresentaram valores médios entre 69 e 74. PIRES et al. (2003), encontraram durante os meses de verão nas regiões Norte e Oeste do estado, valores médios, entre 72 a 78. CAMPOS et al. (2003) pesquisando as perdas na produção leiteira para a região Sudeste, consideraram mais críticas à produção essas mesmas regiões.

Na Figura 11, também se constatou a oscilação do ITU médio ao longo dos anos, apesar desta variação, se seguirmos a classificação de zona de risco de acordo com a Tabela USDC-ESSA (1970), mostrada na Tabela 1, apenas em 2004 classificaríamos São José do Rio

Preto - considerada uma importante região para a produção de leite do estado - na categoria de Alerta, enquanto que todas as demais regiões apresentaram-se abaixo deste valor.

A partir desta visualização é possível dizer que em relação ao ITU médio anual, o estado de São Paulo não apresenta grandes riscos à produção leiteira, com exceção de algumas regiões que durante determinados meses apresentam altos valores de ITU. DU PREEZ et al. (1990) realizando zoneamento bioclimático da África do Sul e da Namíbia, também encontraram a sazonalidade do ITU, percebendo que as áreas de risco se alternavam mensalmente e geograficamente, considerando o  $ITU \geq 72$ .

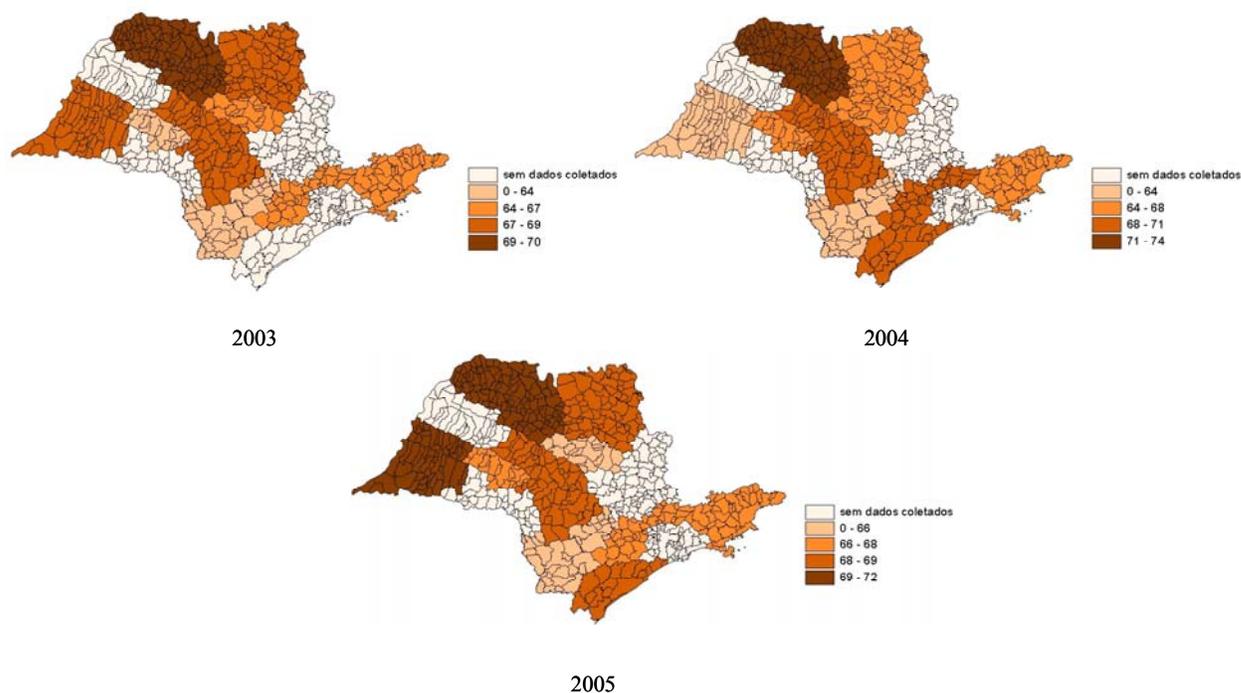


Figura 11. Distribuição do ITU médio anual nas mesorregiões do estado de São Paulo nos anos de 2003, 2004 e 2005.

### 5.1 A distribuição do ITU médio por estação meteorológica

Os dados de temperatura e umidade de cada região foram utilizados dentro de intervalos anuais apresentados na Tabela 1 onde então o valor do ITU médio anual foi calculado para cada estação meteorológica, sendo a distribuição desses valores apresentados nas Figuras 12 e 13.

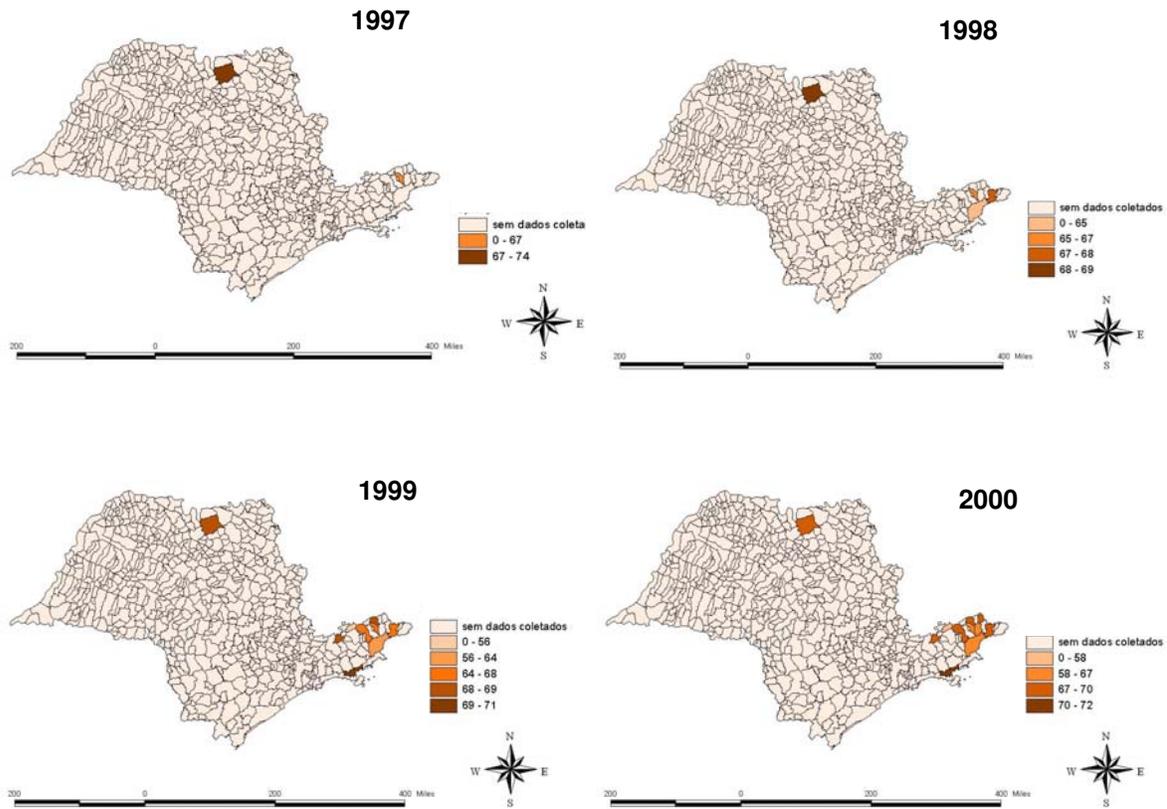


Figura 12. Distribuição e variação do valor médio do ITU ao longo dos anos de 1997 a 2000.

Analisando a Figura 12, durante o ano de 1997 a estação de Barretos apresentou ITU médio de 74, este valor mais alto se deve aos dados obtidos nos meses de novembro e dezembro daquele ano, fazendo com que o valor do ITU médio fosse o maior valor encontrado nessa região, uma vez que estes meses encontram-se na estação mais quente.

O outro município que teve dados registrados e analisados no referido ano foi Cachoeira Paulista, apresentando um valor médio de ITU de 67, que está abaixo da classificação de qualquer uma das categorias de segurança do ITU. Barretos em 1998 continuou apresentando o maior ITU (69) em comparação com as demais estações, sendo ainda assim um valor adequado.

A partir de 1999 a julho de 2006 a estação de Caragatatuba apresentou sempre os maiores valores médios de ITU, todos  $\geq 70$ , onde em 2002 o valor médio alcançou 75 já

dentro da classificação de alerta. A visualização da variação do índice nessa estação meteorológica será ainda abordada na comparação das bacias leiteiras.

Observa-se que nas Figuras 12 e 13 o número de regiões analisadas aumentou ao longo do tempo devido ao aumento na disponibilização dos dados ao longo dos anos.

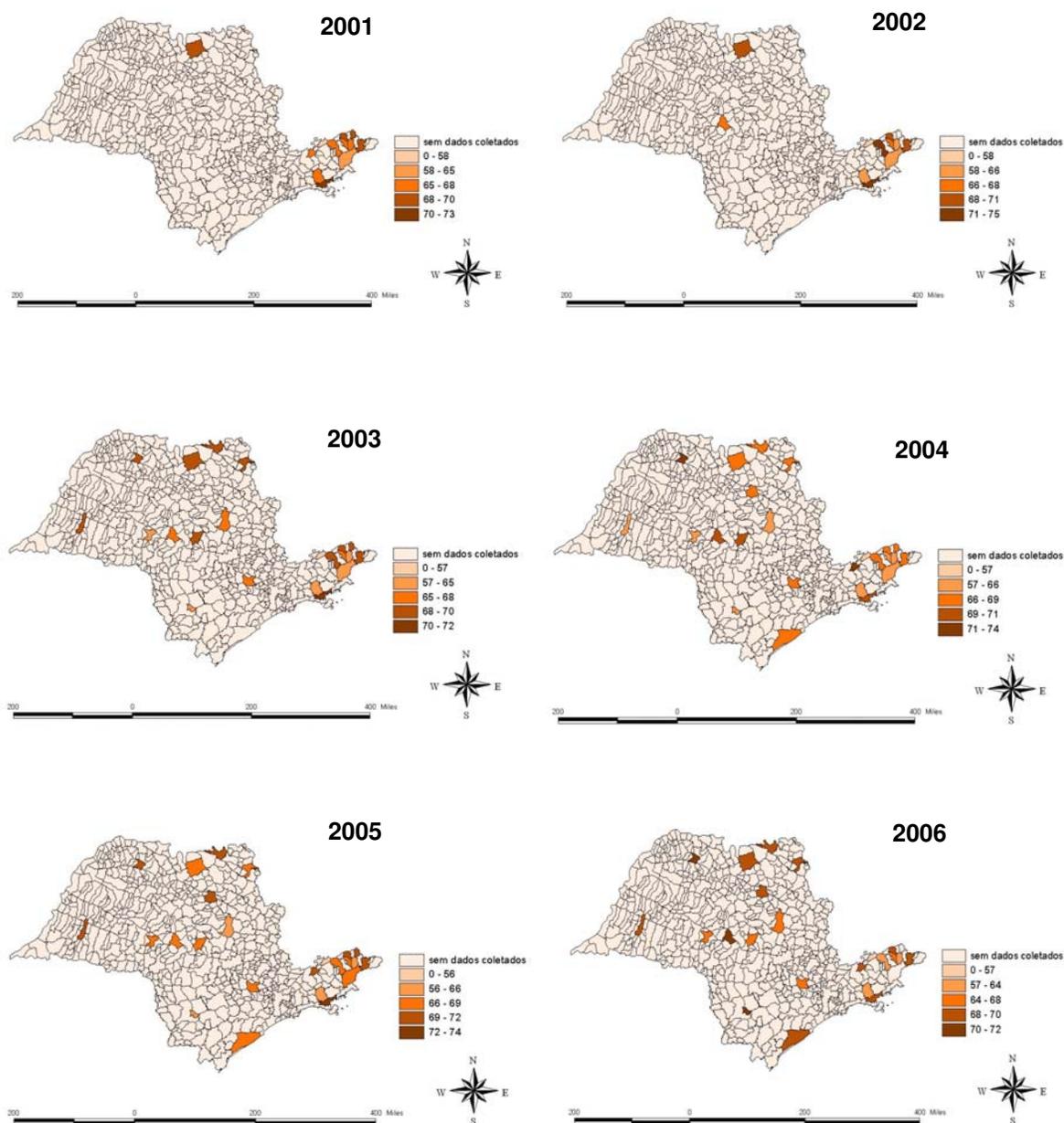


Figura 13. Distribuição e variação do valor médio do ITU ao longo dos anos de 2001 a 2006.

## 5.2 Categorias do ITU X Número de horas

Para a obtenção dos valores médios anuais nas diferentes categorias, incluindo o ITU noturno, foi estimada a média para cada estação. O valor de ITU médio mais encontrado foi 69 devido ao maior número de estações presentes na região do Vale do Paraíba que por apresentar temperaturas mais amenas é responsável pela redução no valor do ITU médio.

A Tabela 5 apresenta os valores médios anuais do ITU, do ITU máximo, das categorias alcançadas, além do ITU noturno nas estações meteorológicas avaliadas.

Tabela 5. Valores médios anuais do ITU máximo, noturno e diferentes categorias.

Município	ITU médio	ITU máx	Noturno	Alerta	Perigo	Emergência
Barretos	70	82	78	77	80	87
Bauru	69	70	78	77	80	0
Cachoeira Paulista	67	77	77	77	80	85
Campos do Jordão	57	72	0	76	79	0
Caraguatatuba	72	79	78	78	82	87
Cruzeiro	70	83	78	77	81	85
Cunha	65	79	77	77	80	85
Franca	69	70	77	76	79	0
Garça	66	77	78	77	80	0
Guaratinguetá	68	80	77	78	82	84
Iguape	69	79	78	77	81	85
Itu	68	78	78	77	80	0
Jaboticabal	69	79	78	77	80	0
Jau	69	80	78	77	80	89
Miguelópolis	69	82	78	77	80	89
Monteiro Lobato	70	86	81	77	81	87
Paraibuna	65	83	78	77	81	85
Presidente Prudente	69	79	79	77	81	84
Queluz	69	83	78	77	81	85
São José do Barreiro	69	84	78	77	81	85
São Carlos	66	80	78	77	80	89
Silveiras	65	77	77	77	80	0
Taquarivaí	66	77	78	77	80	87
Votuporanga	72	81	78	77	80	85

Para o número de horas de ocorrência de cada categoria, foi realizada a somatória do número de horas de todas as estações meteorológicas estudadas, para então se obter o valor médio nas categorias. As médias do número de horas para as categorias de alerta, perigo e

emergência foram 1160, 472 e 36 horas respectivamente para todo o estado em todo o período de estudo.

A caracterização do ITU noturno se deu através da imposição da condição de  $ITU \geq 76$ . Para esta condição obteve-se uma média de 224 horas em que o ITU noturno alcançou ou ultrapassou o valor de 76 em todo o estado. O número de horas discriminado para cada estação está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Número de horas do ITU noturno e das categorias encontrado no intervalo de anos correspondente ao banco de dados de cada estação meteorológica.

Município	Intervalo de anos	Noturno	Alerta	Perigo	Emergência	Número de horas médio
Barretos	1997-2006	699	3238	1308	7	455,3
Bauru	2002-2006	304	1059	232	0	258
Cachoeira Paulista	1996-2006	334	2619	679	2	300,0
Campos do Jordão	2000-2006	0	165	1	0	23,7
Caragatuatuba	2000-2006	604	1545	783	270	371,1
Cruzeiro	1998-2006	467	2569	1720	96	487,2
Cunha	2000-2006	24	1440	187	2	232,7
Franca	2003-2006	37	328	0	0	82,1
Garça	2004-2006	114	679	120	0	266,3
Guaratinguetá	2000-2006	178	1058	604	19	240,1
Iguape	2004-2006	189	633	325	26	328,0
Itu	2003-2006	102	765	185	0	237,5
Jaboticabal	2004-2006	159	808	237	0	348,3
Jau	2003-2006	211	952	348	3	325,8
Miguelópolis	2003-2006	381	1399	442	2	460,8
Monteiro Lobato	1999-2006	255	469	319	246	129,3
Paraibuna	2001-2006	91	1230	698	11	323,2
Presidente Prudente	2003-2006	378	969	491	12	368,0
Queluz	2000-2005	166	1100	797	71	328,0
São José do Barreiro	2003-2006	187	1595	1073	88	194,3
São Carlos	2000-2006	87	677	98	2	393,7
Silveiras	2000-2006	25	1025	163	0	169,7
Taquarivaí	2003-2006	79	420	109	6	133,8
Votuporanga	2003-2006	315	1111	422	1	383,5
Média Total		224	1161	473	36	

Em estudos feitos por BRODY et al. (1955), observou-se que o melhor indicador de estresse térmico é o número de horas em que os animais são expostos à temperaturas acima de 26,7°C. O número de horas de estresse a que são submetidos é extremamente importante, uma vez que, valores na categoria de perigo são muito mais danosos à produção animal quando ocorrem durante um grande número de horas em dias seguidos do que os o ITU na categoria de emergência ocorrendo em poucos horários.

Analisando o ITU noturno observou-se que o maior valor encontrado foi no município de Monteiro Lobato, (81- categoria perigo), porém o número de horas de ocorrência médio foi de 255 horas, enquanto o município de Caraguatatuba apresentou um menor valor do ITU noturno (78 – categoria de alerta), apresentou mais que o dobro do número de horas.

Em relação ao ITU noturno um estudo feito no Arizona mostrou que temperaturas de bulbo seco noturnas menores que 21 que ocorrem por três ou quatro horas acabam por minimizar os efeitos do estresse sofrido por vacas leiteiras durante o dia (IGONO e JOHNSON, 1992). FUQUAY, (1981) também sugeriu que a temperatura mínima pode ter um impacto maior sobre a performance de vacas de leite do que a temperatura máxima diária.

Comparando as Tabelas 5 e 6 pode se observar que mesmo que algumas estações tenham alcançado altos picos de ITU na categoria de emergência, como por exemplo, São Carlos, com valor médio 89 e o número de horas em que essa condição foi encontrada, 2 horas, é muito menor que em outras localidades, como Monteiro Lobato que apresentou um valor médio nesta categoria de 87 em 246 horas nesta condição, como pode ser observado na Tabela 6. De acordo com HUBBARD et al. (1997), a identificação do número de horas do ITU em qualquer uma das categorias é importante na caracterização do estresse animal, pois uma única hora em que o ITU alcançou 84 não necessariamente terá um efeito severo sobre a produção, devido a capacidade de manter a homeostase, sem ocorrer grandes perdas.

MADER et al. (2004), enfatizaram a importância do estudo do ITU também em pesquisas realizadas com gado de corte nos EUA, afirmaram que o aumento de 0,5°C na temperatura média da Terra, pode causar um grande impacto sobre a indústria da carne, chegando a perdas de 5 bilhões de dólares por ano. Em análises posteriores, observaram que se o número total de horas com ITU acima de 75 durante um ano excedesse 2.500 horas, haveria grande probabilidade que esses animais migrassem para áreas de clima mais ameno. Os autores ainda sugeriram que a migração do gado ocorrida durante as décadas de 50 a 70 do

Leste de Cornbelt (mais quente) para a região das Grandes Planícies se deu em parte pelos baixos valores de ITU nessa região.

### **5.3 Ondas de Calor**

A importância do estudo da ocorrência de altos valores de ITU em dias consecutivos deve-se ao fato da produção leiteira apresentar um retardo na resposta fisiológica do animal ao estresse térmico sofrido. LINVILL e PARDUE (1992) observaram em estudos sobre o declínio na produção de leite uma correlação significativa entre a produção e o valor do ITU de quatro dias anteriores. Da mesma forma, WEST et al. (2003) levando em consideração o nível de produção do animal, encontraram que o ITU médio de dois dias anteriores influenciou na produção destes animais. Com base nesses e outros estudos sobre o que é chamado “atraso da resposta”, a análise do estresse animal durante os dias de ocorrência de onda de calor torna-se essencial para a comprovação da resposta não imediata ao estresse, uma vez que a onda de calor ocorre num período mínimo de três dias consecutivos, intervalo esse aproximado ao período para que seja desencadeada a resposta do animal. As pesquisas sobre a ocorrência de ondas de calor e seus impactos sobre a produção animal, bovinos de leite, corte e suínos têm sido bastante realizadas por diversos pesquisadores, HUBBARD et al. (1997), HUHNEKE et al. (2001), e NIENABER e HAHN (2004).

#### **4.4.1 Considerações a respeito do valor crítico**

Segundo as tabelas já consagradas de ITU, entre elas, USDC-ESSA(1970), DUPREEZ et al. (1990) e ARMSTRONG (1994), os valores de índice de conforto térmico acima de 74 passam a ser potencialmente estressantes para os animais em confinamento, mas, segundo trabalhos desenvolvidos no estado de São Paulo, MARTELLO et al. (2004), MARTELLO (2006), MATARAZZO (2004), analisando respostas produtivas, fisiológicas e comportamentais de vacas holandesas, não foram observadas evidências de estresse sob condições de ITU dentro da classificação de alerta (75 – 78). MARTELLO (2006)

pesquisando o ITU na microrregião de Pirassununga em São Paulo, mostrou que as comparações na produção de leite das vacas submetidas a diferentes ambiente térmicos indicaram que a condição de estresse moderado, 72 a 78, (DU-PREEZ, 1990), não apresentou diferença na produção de leite quando comparada a produção das vacas em ambiente de conforto. Em vista da provável adaptação dos animais às condições climáticas nacionais, tornou-se imprescindível adotar valores de ITU acima de 80 para que fosse possível adotar uma correlação entre estresse térmico e índice de conforto.

Sendo assim, para a caracterização de onda de calor considerou-se primeiramente que os valores de ITU acima de 81 têm uma grande possibilidade de caracterizarem a ocorrência desse evento extremo. Segundo PIRES et al. (2003) em suas pesquisas já consideravam valores de  $ITU \geq 78$ , que segundo os autores representam estresse severo, e que dependendo da duração da sua ocorrência reduzem significativamente a produção de leite e a eficiência reprodutiva, podendo, até mesmo, colocar em risco a vida do animal. Essa condição ocorrendo em dias seguidos, de acordo com definição já estabelecida de três dias consecutivos, pode ser considerada como ocorrência de onda de calor para a produção leiteira.

O valor de 81 foi utilizado uma vez que pode ser alcançado com temperaturas acima de 28°C, estando portanto, fora da condição termoneutra para bovinos de leite que de acordo com HUBER (1990), esta condição sem perdas estaria entre 4 e 26°C. Para BAETA e SOUZA (1997) as temperaturas acima de 27°C podem ser consideradas estressantes, porém podem variar com a adaptação do animal ao calor, com o tempo de exposição ao estresse e com o nível de lactação.

### **5.3.1 A ocorrência de ondas de calor**

Estudando a ocorrência de ondas de calor foram encontradas 329 possíveis ocorrência de onda de calor em um intervalo de anos que variou de 3 a 10 anos de acordo com os dados da estação meteorológica. Como já mencionado na metodologia, estes possíveis eventos são aqueles que ultrapassaram o valor de 81, aqui considerado como limite, por pelo menos uma hora de um dia, durante um mínimo de três dias consecutivos, mas que não necessariamente correspondem a temperatura de bulbo seco acima de 32°C. A contabilização desses possíveis

eventos é válida, pois existem diversas combinações possíveis de serem alcançadas entre temperatura de bulbo seco e umidade para cálculo do ITU alcançando o valor de 81.

Com base nesse tipo de situação, contabilizou-se os possíveis eventos, assim como a sua magnitude e duração para a partir destes selecionar as ondas de calor com base na Tbs limite, (32°C) já definida por diversos pesquisadores e órgãos responsáveis, NIENABER e HAHN (2004), INMET (2005), AMS (1989) para caracterização de onda de calor.

### **5.3.2 Análise descritiva da ocorrência de ondas de calor**

Devido à falta de informações sobre a ocorrência de onda de calor no Brasil para serem utilizadas como dados comparativos, foi realizada uma análise descritiva da ocorrência de ondas de calor a partir dos dados de cada estação meteorológica usada neste estudo, onde foram relacionadas a duração, contada em dias, e a magnitude dos eventos, que relaciona tanto a duração quanto a intensidade das ondas.

Segundo HUHNEKE et al. (2001), a magnitude da onda de calor é de extrema importância na avaliação do seu impacto, pois segundo os autores, eventos que apresentaram uma mesma duração não necessariamente acarretam o mesmo estresse. A partir da magnitude encontrada em cada evento, foi possível encontrar as localidades que apresentaram as ondas de calor mais impactantes à produção de leite, como é apresentado a seguir.

- **Barretos**

A estação meteorológica de Barretos apresentou 76 dias com probabilidade de ocorrência de ondas de calor nos anos de 1998 a 2003. Dentre estes 76 dias foram encontrados 18 possíveis eventos com magnitude média de 6,4. Seguindo a definição estabelecida de Onda de Calor e considerando apenas os eventos com temperaturas acima de 32°C, considerou-se do total de 18 prováveis eventos apenas 7 como efetiva ocorrência de onda de calor, apresentando uma magnitude média de 4,6. O total de 76 dias encontrado para provável ocorrência de onda foi reduzido para 24 dias.

A Figura 14 mostra a duração e a magnitude das ondas de calor encontradas no período de 6 anos, sendo que apenas o ano de 2003 apresentou duas ondas sendo, uma em dezembro e outra em fevereiro, os demais anos apresentaram apenas uma onda cada, que ocorreram nos meses mais quentes.

Observou-se que nem sempre ondas de calor com maior duração possuem uma maior intensidade, maior magnitude de ocorrência. Em 2003 por exemplo, quando ocorreram duas ondas de calor, observa-se que a onda teve duração de três dias apresentando magnitude de 9,1, já a segunda onda ocorrida durou 5 dias tendo uma magnitude de 3,3.

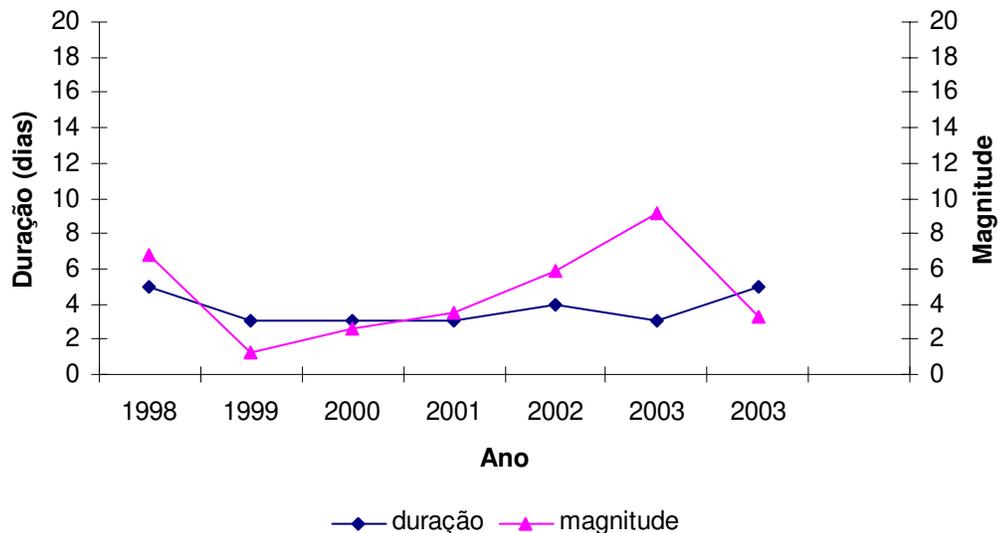


Figura 14. Relação da magnitude e duração das ondas de calor no município de Barretos para o período de estudo.

- **Bauru**

O município de Bauru onde foram analisados apenas 3,5 anos de dados coletados apresentou 14 dias com probabilidades de ocorrência onda de calor. Dentre este período ocorreram 3 possíveis eventos com magnitude média de 11,3. Após considerar somente os dias com temperaturas acima de 32°C, foram consideradas encontradas duas efetivas ocorrência de ondas de calor sendo uma delas ocorrida em outubro de 2005 com duração de 6 dias e magnitude média de 18,4 e a outra em fevereiro de 2003 com duração de 3 dias e magnitude de 4,9. Observa-se na Figura 15 que a onda de calor ocorrida em 2005 teve magnitude quase 4 vezes maior que a magnitude de 2003 e durando o dobro de dias que a 2003.

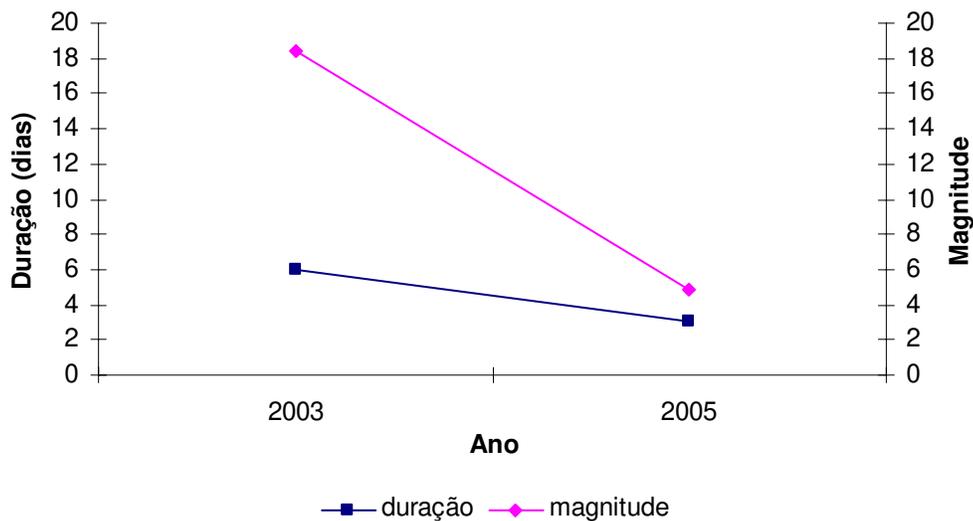


Figura 15. Relação da magnitude e duração das ondas de calor no município de Bauru para o período de estudo.

- **Cachoeira Paulista**

Os dados climatológicos desta estação apontaram 25 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes sete eventos foi registrada uma magnitude média de 3,9. Dentre as probabilidades de ocorrência foram encontrados efetivamente dois eventos, o primeiro com duração de três dias em 2003 e o segundo com quatro dias de duração em 2005, apresentando magnitude média de 3,1 e 3,6, como pode ser observado na Figura 16.

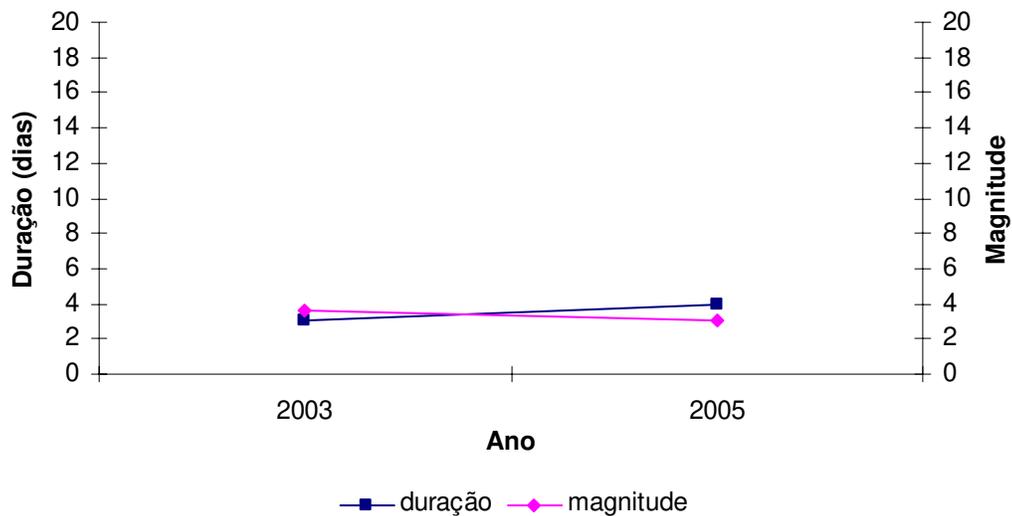


Figura 16. Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Cachoeira Paulista para o período de estudo

- **Caraguatatuba**

O município de Caraguatatuba apresentou 147 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Durante estes dias, 22 possíveis eventos ocorreram com magnitude média de 55. Dentre os possíveis eventos foram registradas seis efetivas ocorrência de ondas de calor, com magnitude média de 49,1, sendo num total de 36 dias. Na Figura 17 observa-se que o maior evento tanto em duração quanto em magnitude registrado por esta estação meteorológica ocorreu com duração de 11 dias e magnitude de 193,9 no mês de fevereiro de 2005 e as outras 5 ondas de calor ocorreram apenas no ano de 2003 nos meses de fevereiro e março.

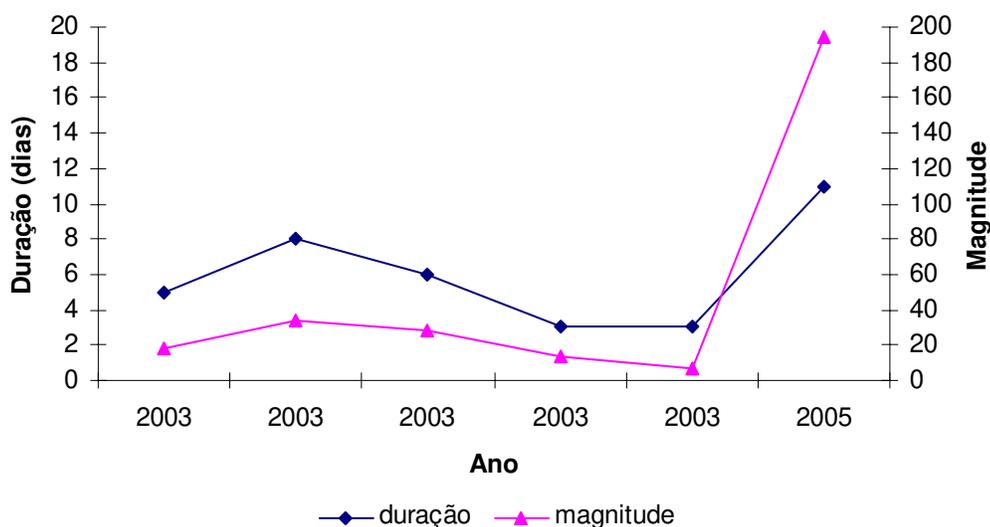


Figura 17. Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Caraguatatuba para o período de estudo

- **Cruzeiro**

Para o município de Cruzeiro foram encontrados 369 dias com probabilidades de onda de calor. Dentre estes dias, 73 possíveis eventos ocorreram com magnitude média de 12,7. Aplicando-se as condições de limite da temperatura para onda de calor, a efetiva ocorrência de onda de calor do número total foi reduzido para 227 dias com 46 efetivas ocorrências de ondas de calor com magnitude média total de 9,5. Todos os eventos ocorreram em sua maioria nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, dentro da estação mais quente distribuídos entre 5 a 6 eventos por ano. Fora da estação mais quente houve apenas dois eventos ocorridos na primeira e segunda semana de Abril de 2005 , ambos de 8 e 3 dias com magnitudes de 17,4 e 4,3 , respectivamente. A maior magnitude foi 30,1 durante 8 dias consecutivos na última semana de fevereiro e primeira de março, porém a maior duração ocorrida foi de 11 dias alcançando 18,7 de magnitude, como pode ser visto na Figura 18.

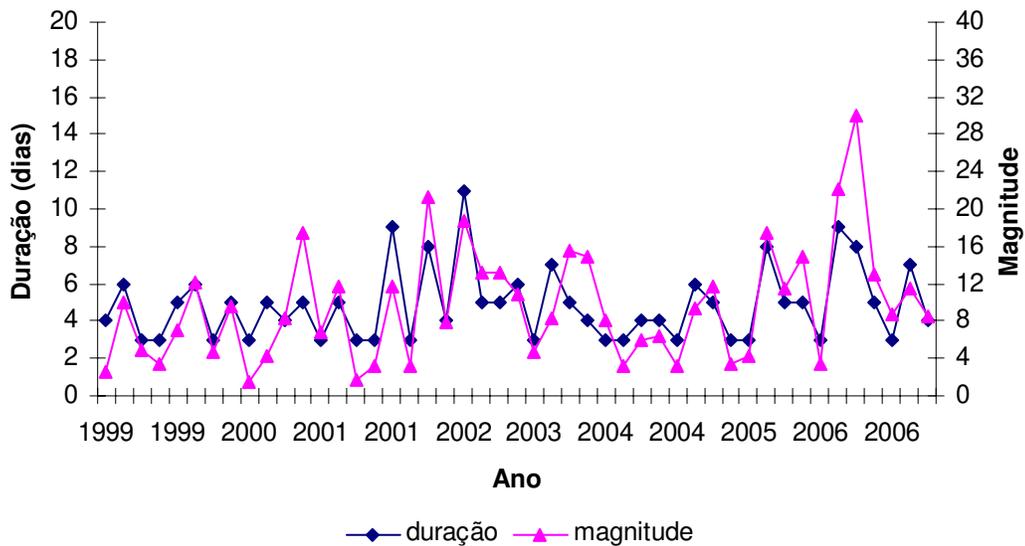


Figura 18. Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Cruzeiro no período de estudo.

- **Guaratinguetá**

O município de Guaratinguetá apresentou 115 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias, 25 possíveis eventos com magnitude média de 9,4. Na caracterização real de onda de calor foram encontradas ocorrências de 19 ondas de calor num total de 77 dias com magnitude média de 5,23. Neste caso a maior duração e maior magnitude ocorreram concomitantemente, sendo 8 dias de ocorrência e 10,3 de magnitude durante o ano de 2003. Como observado na Figura 19, foi ainda neste referido ano que 7 das 19 ondas de calor e a distribuição dos eventos deu-se nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Durante 2005 sua distribuição foi de janeiro a abril, em 2004 foi janeiro a março e 2002 durante novembro e dezembro.

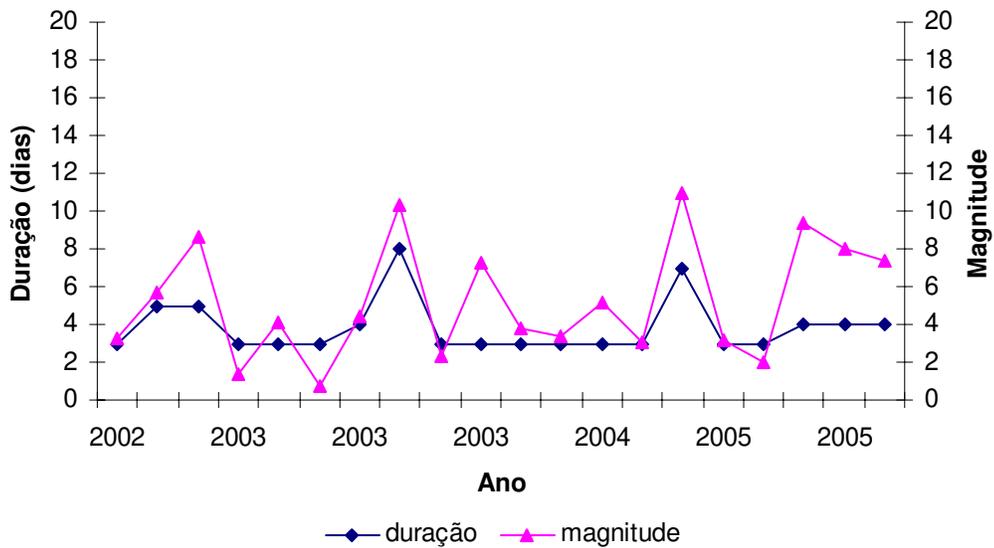


Figura 19. Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Guaratinguetá no período de estudo.

- **Iguape**

O município de Iguape apresentou 50 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias, 9 possíveis eventos foram evidenciados com magnitude média de 16,9. Após impostas as condições para onda de calor, o número de eventos reais se resumiu a dois, um ocorrendo em fevereiro e outro em março de 2006 ambos com duração de 4 dias e magnitudes de 8,2 e 27,7, respectivamente, como apresentado na Figura 20.

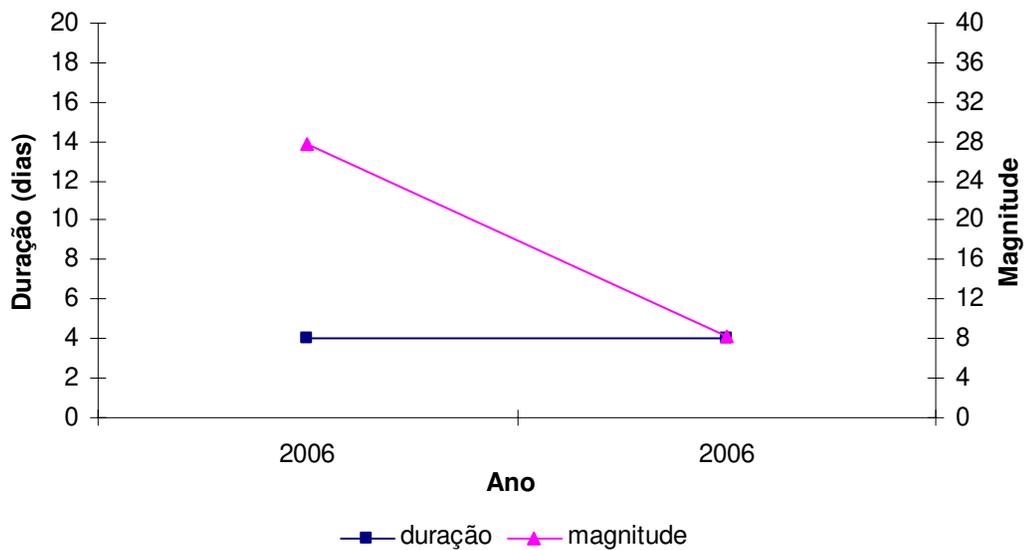


Figura 20. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Iguape para o período de estudo.

- **Itu**

O município de Itu não apresentou eventos prováveis, pois todas as três ocorrências estiveram dentro do limite imposto tanto para a temperatura quanto para o valor do ITU, sendo assim as 3 efetivas ocorrências de ondas de calor apresentaram duração total de 10 dias, com magnitude média de 3,6. Itu apresentou um evento por ano, ou seja, em 2003, 2005 e 2006. No primeiro ano a onda de calor ocorreu no mês de dezembro e nos dois outros anos em março.

No ano de 2006 obteve-se a maior duração e maior magnitude de 7,2 em 4 dias, como é observado na Figura 21.

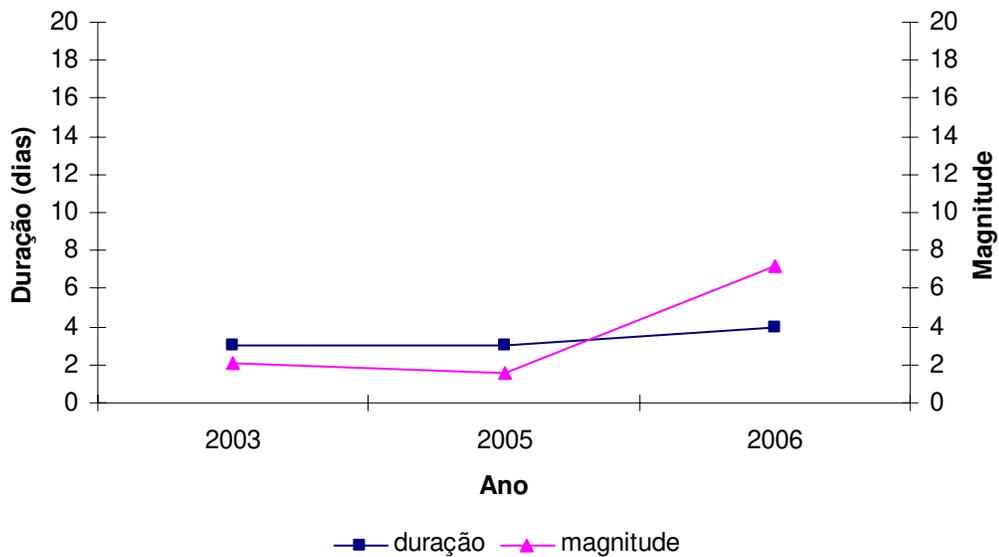


Figura 21. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Itu para o período de estudo.

- **Jaboticabal**

O município de Jaboticabal apresentou 14 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias quatro eventos ocorreram com magnitude média de 4,4. Dos quatro eventos, três deles foram considerados ondas de calor com magnitude média de 4,5 num total de 10 dias, como observado na Figura 22. A ocorrência das ondas foi em março de 2005 com quatro dias de duração e janeiro e fevereiro de 2006 ambas de três dias.

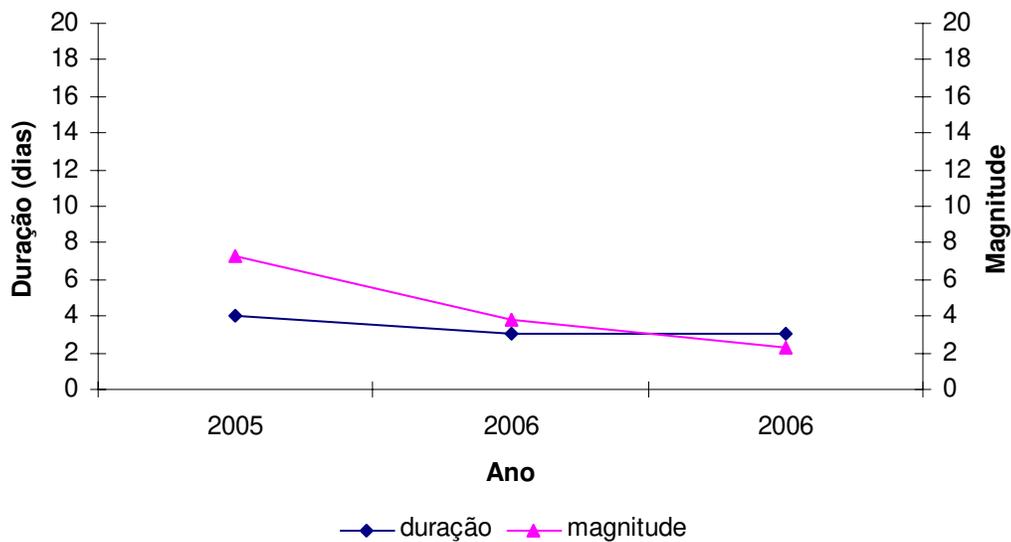


Figura 22. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Jaboticabal no período de estudo.

- **Jaú**

O município de Jau apresentou 23 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias, cinco eventos ocorreram com magnitude média de 9,7. Pela definição de ocorrência efetiva de onda de calor, obteve-se então quatro eventos de mesma duração com magnitude de 10,7 num total de 16 dias, como pode ser visto na Figura 23. O evento de maior magnitude ocorreu em março de 2006. A distribuição foi uma onda em dezembro de 2003 e duas em março e abril de 2005.

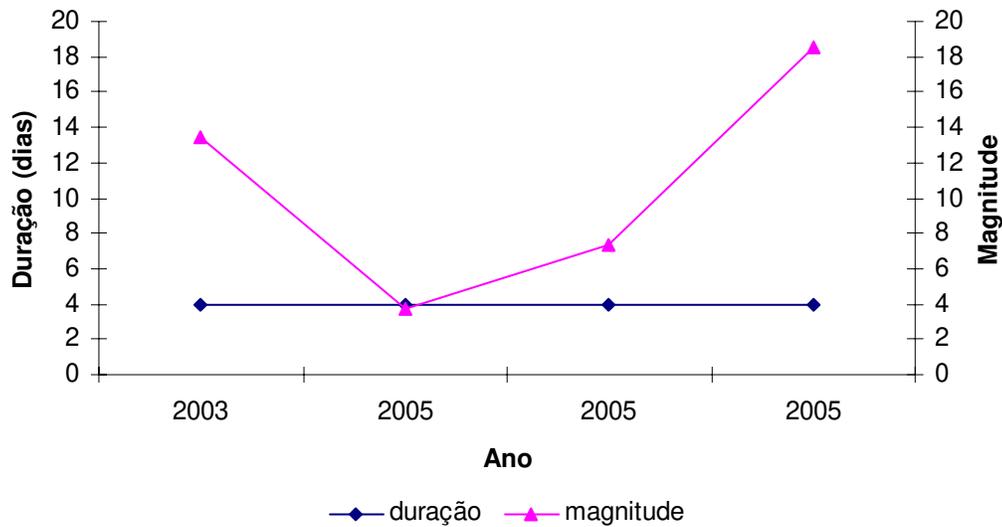


Figura 23. Relação entre magnitude e duração das ondas de calor no município de Jaú no período de estudo.

- **Miguelópolis**

O município de Miguelópolis registrou 20 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias cinco eventos ocorreram com magnitude média de 5,2. O número total de dias de ocorrência efetiva de onda foi o mesmo, com 20 dias e cinco eventos reais, reduzindo a magnitude média para 5,1. A maior magnitude foi alcançada em dezembro de 2003, com valor de 12,7 durante seis dias, também sendo a onda de maior duração. Em 2005 foram registrados dois eventos, sendo uma onda em fevereiro e outra em março. A última onda ocorrida foi janeiro de 2006. Na Figura 24 é mostrada a relação entre a magnitude e a duração das efetivas ondas de calor no município.

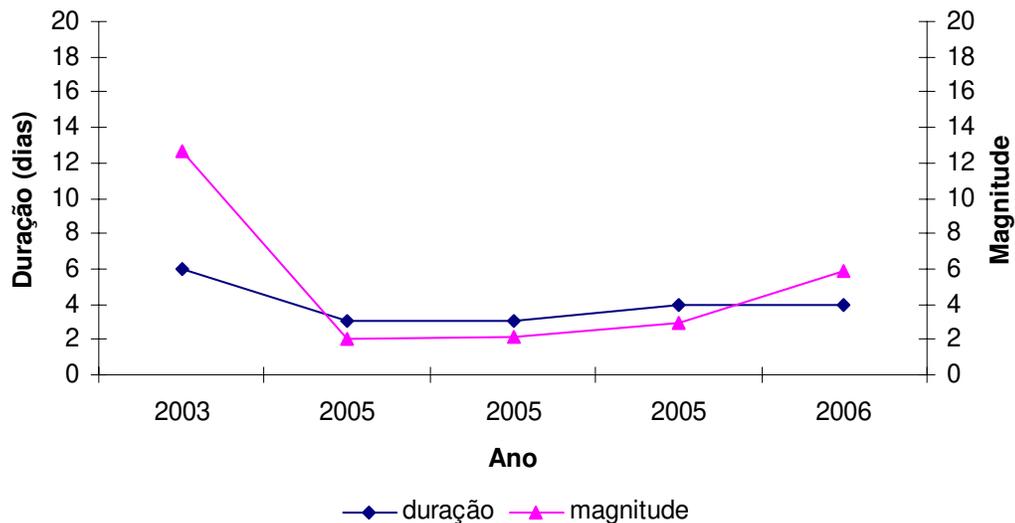


Figura 24. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Miguelópolis no período de estudo.

- **Monteiro Lobato**

O município de Monteiro Lobato registrou 48 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias 11 eventos ocorreram com magnitude média de 25,1. Avaliando-se somente as ocorrências de ondas de calor efetivas, foram encontrados sete eventos de magnitude média de 11,04 durante um total de 33 dias. Monteiro Lobato apresentou uma onda de calor que ocorreu fora da estação mais quente, sendo sua ocorrência em junho com duração de quatro dias e registrando a maior magnitude de 37,2 em 2005. Ainda em 2005 mais três ondas ocorreram nos meses de fevereiro e abril. Em 2006 foram registrados três eventos, um para cada mês de janeiro a março. A Figura 25 mostra a relação entre magnitude e duração da ocorrência de ondas de calor em Monteiro Lobato

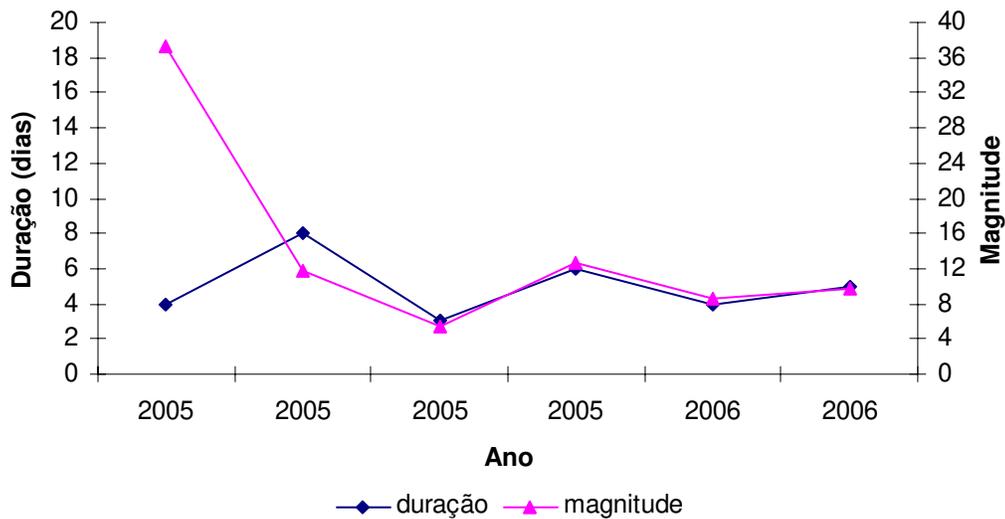


Figura 25. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de Monteiro Lobato no período de estudo.

- **Paraibuna**

O município de Paraibuna apresentou 99 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias foram encontrados 24 eventos com magnitude média de 6,8. Entre os 24 possíveis eventos apenas 19 foram consideradas efetivas ondas de calor, com total de 74 dias de ocorrência e magnitude média de 7,0. Na Figura 26 observa-se que a onda de calor de maior duração apresentou também a maior magnitude de 19,5 durante 9 dias em 2004.

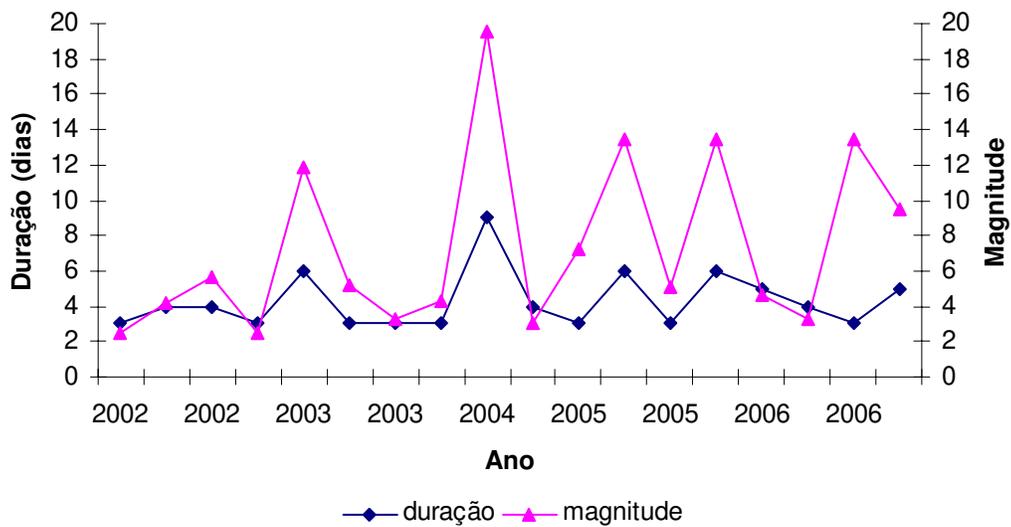


Figura 26. Relação magnitude e duração das ondas de calor no município de Paraibuna no período de estudo.

- **Presidente Prudente**

O município de Presidente Prudente apresentou 67 dias com probabilidade de ocorrência de ondas de calor. Dentre estes dias, 12 eventos ocorreram com magnitude média de 14,3. O número de reais ocorrências de ondas de calor foi de 11 eventos num total de 56 dias e magnitude média de 12,7. Ocorreram ondas em todos os meses de verão de 2005 e 2006 e em outubro de 2005. Também em abril de 2005 ocorreu uma onda de calor com magnitude 6,4 durante 5 dias, como pode ser visto na Figura 27.

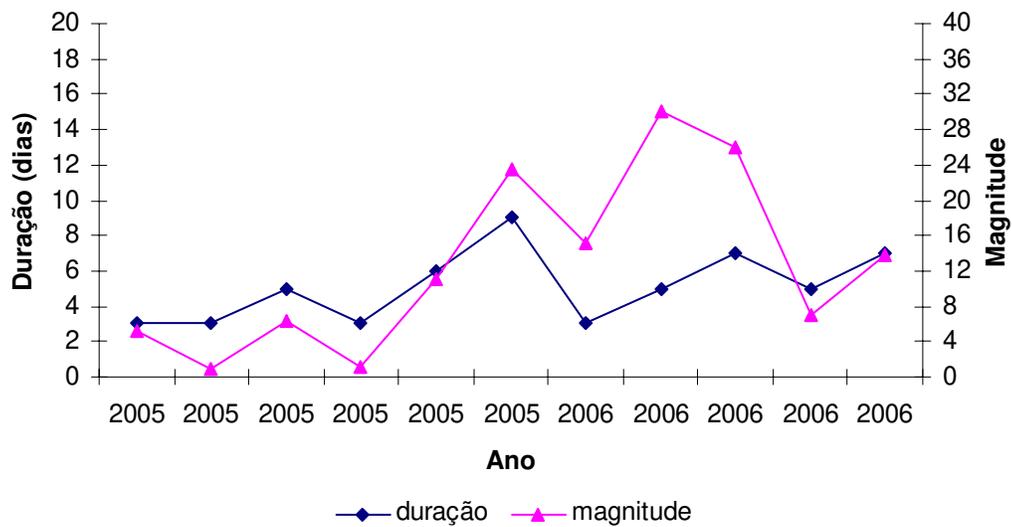


Figura 27. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor do município de Presidente Prudente no período de estudo.

- **Queluz**

O município de Queluz apresentou 184 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias, 41 possíveis eventos ocorreram com magnitude média de 10,8. Dos 41 possíveis eventos apenas 24 foram realmente considerados como onda de calor apresentando magnitude de 10,6 em um total de 106 dias. Durante o anos de 2001 e 2004 a ocorrência das ondas de calor foi entre os meses de janeiro e fevereiro. O maior número de ocorrências foi durante o ano de 2001 com 8 ondas, foi também onde se registrou as maiores durações e magnitudes. A maior duração obtida foi de 10 dias em fevereiro e a maior magnitude ocorreu em dezembro, sendo de 32,3 durante 5 dias, como pode ser visto na Figura 28.

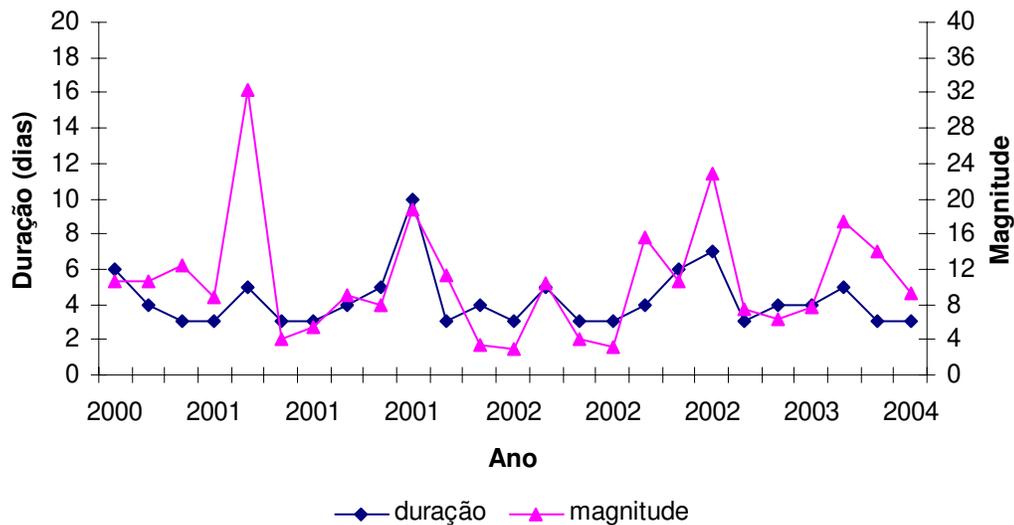


Figura 28. Relação entre magnitude e duração das ondas de calor no município de Queluz no período de estudo

- **São José do Barreiro**

O município de São José do Barreiro apresentou 230 dias com probabilidade de ocorrência de onda de calor. Dentre estes dias 45, prováveis eventos ocorreram com magnitude média de 14,4. Neste município foram contabilizados 181 dias de efetiva ocorrência de ondas calor, que corresponderam a 38 ondas de calor com magnitude média de 15,0. Como pode ser observado na Figura 29, a maior magnitude e duração foram registradas em 2003. A ocorrência desses eventos distribuiu-se durante os meses mais quentes, onde não foi registrado nenhum evento fora dessa época.

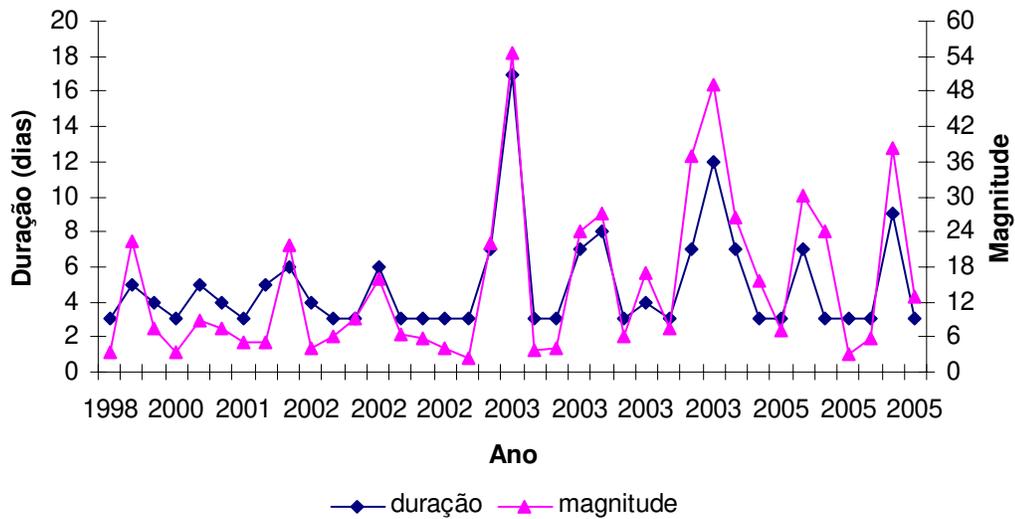


Figura 29. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de São José do Barreiro no período de estudo.

- **Votuporanga**

O município de **Votuporanga** apresentou 37 dias com probabilidade de ocorrência de ondas de calor. Dentre estes dias, 11 possíveis eventos ocorreram com magnitude média de 6,1. Após análise dos possíveis eventos, constatou-se efetiva ocorrência de 9 ondas de calor com magnitude média de 5,5. As três ondas ocorridas em 2006 distribuíram-se entre os meses de janeiro a março mantendo a mesma duração, mas variando sua magnitude, como pode ser visto na Figura 30.

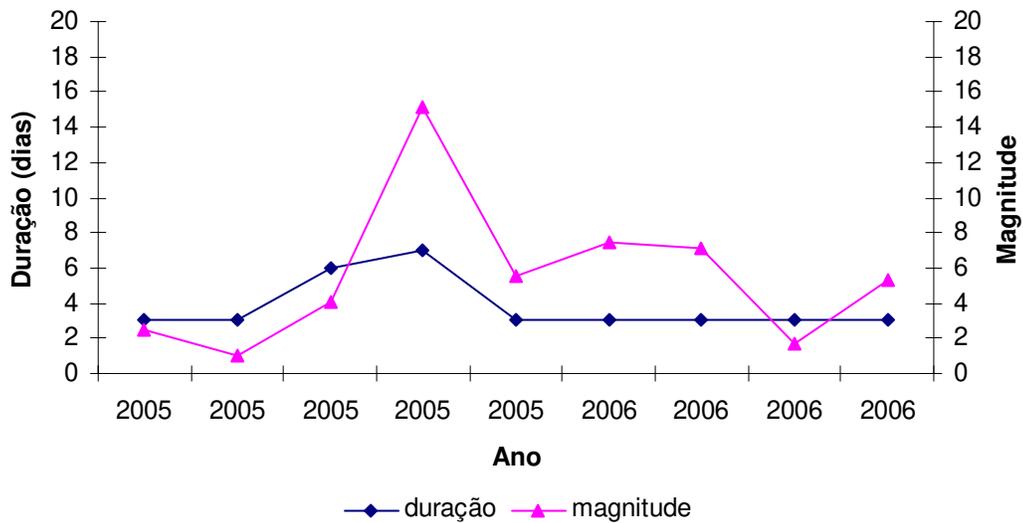


Figura 30. Relação entre a magnitude e duração das ondas de calor no município de **Votuporanga** no período de estudo.

Os municípios de Silveiras e Taquarivaí apresentaram apenas um evento de ocorrência efetiva de onda de calor com duração de 3 e 4 dias e magnitude de 2,4 e 1,3 respectivamente. Na Tabela 7 observa-se que os municípios que apresentaram mais que 2,7 ondas de calor por ano estão todos localizados na Região do Vale do Paraíba com exceção de Presidente Pudente que apresentou uma ocorrência também de 2,7 ondas de calor por ano. O município de Caraguatatuba, situado no Litoral Norte Paulista foi o que apresentou a maior magnitude de onda, de 193,9 e 11 dias de duração, enquanto que em São José do Barreiro foi encontrada a onda de maior duração, 17 dias com magnitude de 54,7.

Tabela 7. Relação do intervalo de anos de coleta de dados, do número de provável ocorrência de ondas e número de ondas ocorridas por ano para cada estação meteorológica estudada.

Município	Intervalo de anos	Probabilidade de ocorrência	Efetiva ocorrência de ondas de calor	Nº de ondas/ano
Barretos	1997-2006	18	7	0,7
Bauru	2002-2006	3	2	0,4
Cachoeira Paulista	1996-2006	7	2	0,2
Campos do Jordão	2000-2006	-	-	-
Caraguatatuba	2000-2006	22	6	0,9
Cruzeiro	1998-2006	73	46	5,1
Cunha	2000-2006	-	-	-
Franca	2003-2006	-	-	-
Garça	2004-2006	-	-	-
Guaratinguetá	2000-2006	25	19	2,7
Iguape	2004-2006	9	2	0,6
Itu	2003-2006	3	3	0,7
Jaboticabal	2004-2006	4	3	1
Jau	2003-2006	5	4	1
Miguelópolis	2003-2006	5	5	1,2
Monteiro Lobato	1999-2006	11	7	0,9
Paraibuna	2001-2006	24	19	3,1
Presidente Prudente	2003-2006	12	11	2,7
Queluz	2000-2005	41	24	4
São José do Barreiro	2003-2006	45	38	9,5
São Carlos	2000-2006	-	-	-
Taquarivaí	2000-2006	1	1	0,1
Votuporanga	2003-2006	1	1	0,2

Maiores estudos devem ser realizado no sentido de determinar o que é mais prejudicial ao gado leiteiro, se é o número de ondas ocorrido ao longo do ano, o período de ocorrência dessas ondas, a magnitude das mesmas, a fase do ano em que ocorrem ou até uma correlação entre esses fatores.

Um fator limitante para que se realize a comparação da ocorrência de ondas entre as estações meteorológicas e o seu impacto sobre a produção é primeiramente, devido a heterogeneidade do banco de dados das estações meteorológicas. A diferença entre o intervalo de anos coletados para cada estação variou entre 3 a 11 anos, como foi mostrado na Tabela 1. Tabela 7: Relação do intervalo de anos de coleta de dados, do número de provável ocorrência de ondas e número de ondas ocorridas por ano para cada estação meteorológica estudada.

De acordo com RAVAGNOLO e MISZTAL (2002) o trabalho com um grande número de estações torna-se muito laborioso, por isso, esses autores avaliaram o efeito da redução no número de estações meteorológicas sobre a precisão da informação gerada pelos dados. Os autores estudaram sobre a tolerância genética de vacas holandesas ao calor no Estado da Georgia, EUA, na parte Nordeste e Sudoeste do Estado, utilizando dados produtivos de 120 fazendas e dados meteorológicos de 21 estações meteorológicas. A seleção da estação representativa para cada fazenda foi baseada na distância mínima entre todas as estações sem a perda da integralidade da informação. Os dados obtidos dos dois grupos foi similar aos dados médios das demais 21 estações.

O trabalho poderia ser simplificado se fosse possível a partir das definições do clima para a região e a sua geografia pudesse se reduzir o número de estações a uma ou duas por zona climática, assim como a concentrações de fazendas de leite em uma região e padrão médio do ITU para o inverno e verão

#### **5.4 Caracterização das Bacias leiteiras**

Segundo KLOSOWSKI et al. (2002), o estudo sistemático do ITU para as regiões produtoras de leite constitui importante instrumento indicativo de conforto e desconforto térmico a que os animais podem estar submetidos. A caracterização bioclimática dessas regiões pode auxiliar os produtores na escolha dos meios mais adequados de

acondicionamento térmico para a sua produção. A Tabela 8 apresenta os valores médios do ITU, das categorias de segurança e do ITU noturno para as três bacias leiteiras.

Tabela 8. Valores médios do ITU, categorias e ITU noturno para as bacias leiteiras.

Bacia Leiteira	ITU				
	médio	Alerta	Perigo	Emergência	Noturno
Ribeirão Preto	69	77	80	89	78
Vale do Paraíba	67	77	81	85	78
São José do Rio Preto	72	77	80	85	78

Observa-se na Tabela 8 que a bacia leiteira de São José do Rio Preto apresentou valor de ITU médio alto em relação a Ribeirão Preto, este fato pode estar relacionado à representatividade da bacia que foi realizada com apenas uma estação meteorológica. O valor médio de 67 encontrado na Bacia do Vale do Paraíba está próximo ao valor encontrado por PIRES et al. (2003) e TORRES et al. (2003), onde observaram que nessa região, os índices praticamente não variaram durante a época mais quente do ano, permanecendo com valores próximos a 70, caracterizando esta área como livre do estresse provocado pelo calor, também observaram que a permanência deste valor considerado normal para a produção de leite, ocorreu mesmo durante o trimestre mais quente do ano, o que segundo os autores provavelmente, pode ser explicado pela variação da temperatura com a altitude.

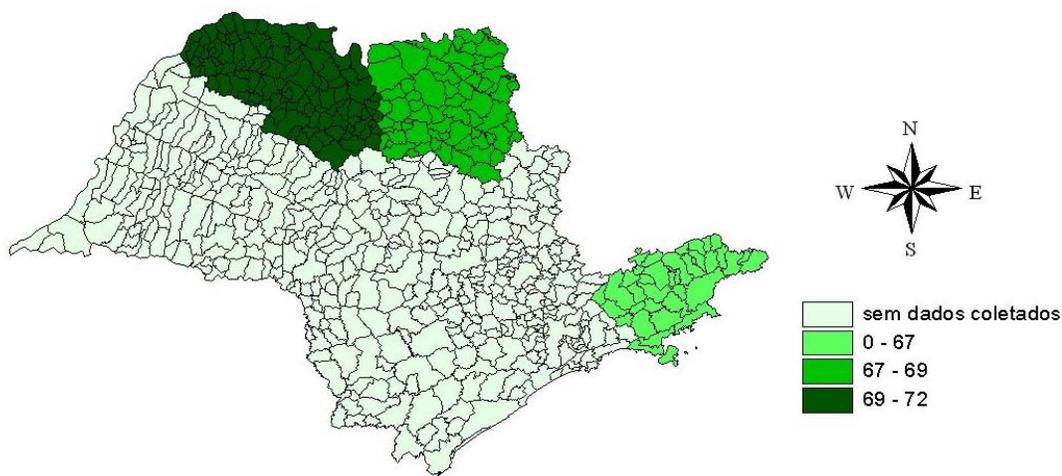


Figura 31. Distribuição espacial do ITU médio nas principais bacias leiteiras do Estado de São Paulo.

No cálculo das classificações de alerta, perigo e emergência foi feita a média dos valores que se encontraram em pelo menos um horário acima do limite para cada classificação já apresentada na Tabela 1, USDC-ESSA (1970). O valor médio dentro das classificações de alerta foi de 77 para as três bacias. Na categoria de perigo o maior valor foi 81 para o Vale do Paraíba. Em São José do Rio Preto e Ribeirão Preto os valores máximos encontrados foram de 80. Na classificação de emergência Ribeirão Preto apresentou valor médio de 89, enquanto Vale do Paraíba e São José do Rio Preto chegaram ao valor médio de 85.

Na região de Ribeirão Preto, LALONI et al. (2003), realizaram experimento com vacas Jerseys utilizando o ITU. O experimento foi conduzido dividindo os animais em dois tratamentos, grupo A com aspersores e ventiladores na sala pré-ordenha e B sem acesso a sala. O grupo A durante o mês de fevereiro apresentou um aumento de 0,6 litros na produção de leite em relação ao grupo B. Durante o período do estudo, as variáveis climáticas encontradas foram de 32°C para temperatura máxima e 18,58°C para temperatura mínima, mostraram-se potencialmente estressoras à produção. Na Figura 31 pode-se observar a distribuição espacial do ITU médio nas principais bacias leiteiras do Estado, onde mais uma vez ficam evidenciados os maiores valores de ITU na Região de Ribeirão Preto. Segundo RAY et al. (1992) a diminuição da eficiência reprodutiva e conseqüentemente, da produção de leite é mais comum em regiões de baixas altitudes devido a maior ocorrência de altas temperaturas nessas regiões.

Em relação ao valor do ITU noturno médio as três bacias apresentaram mesmo valor de 78, a identificação do valor médio do ITU para o período noturno é também importante para a caracterização das regiões, pois animais quando expostos aos períodos diurnos com valor de ITU acima de 80, podem não sofrer perdas produtivas acentuadas quando a noite chegar a valores abaixo de 70. De acordo com CHASTAIN e TURNER (1994) animais submetidos à temperatura mínima abaixo de 20°C são capazes de dissipar o calor metabólico acumulado durante as horas de estresse. Outros estudos como SPIERS et al. (2001) mediram a relação entre resfriamento noturno e a performance produtiva de vacas holandesas durante período de temperaturas entre 20°C a 33°C. Os autores concluíram que a ventilação forçada durante 12 horas no período noturno resulta nos mesmos benefícios que a ventilação durante 24 horas.

Devido às particularidades geográficas do Vale do Paraíba que se estende desde as montanhas da Serra da Mantiqueira até o Litoral Norte de São Paulo, o monitoramento

climático nessa região é intenso e é realizado através de um maior número de estações meteorológicas concentradas nesta região. Portanto, com um volume de dados bem maior em relação às outras regiões do Estado, fez-se uma observação mais detalhada dentro desta bacia leiteira. Através dos gráficos de pontos discriminados, mostrados na Figura 32, pode-se observar a tendência do ITU médio e ITU máximo ao longo dos anos em cada uma das estações meteorológicas. Constata-se também que Campos de Jordão apresentou os menores valores, sendo mais discrepantes em relação aos demais. É possível perceber as flutuações do valor médio do ITU ao longo do tempo, e uma leve tendência de aumento do ITU máximo nas estações meteorológicas.

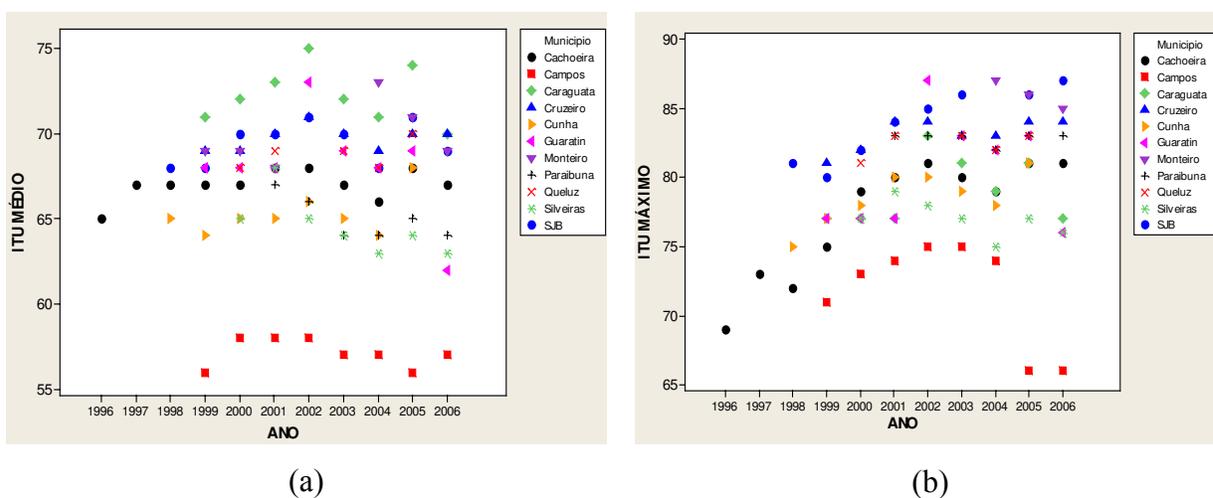


Figura 32. Visualização dos gráficos de pontos discriminados para cada estação meteorológica em relação ao ITU médio (a) e ITU máximo (b).

Na Figura 33 é também mostrado o gráfico de pontos discriminados para o ITU médio e o ITU máximo ao longo dos anos na região do Vale do Paraíba, a reta apresentada foi obtida através de um ajuste de regressão linear simples, onde para o ITU médio constata-se a tendência geral de estabilidade do valor médio do índice, sem aumento ou redução do mesmo ao longo dos anos.

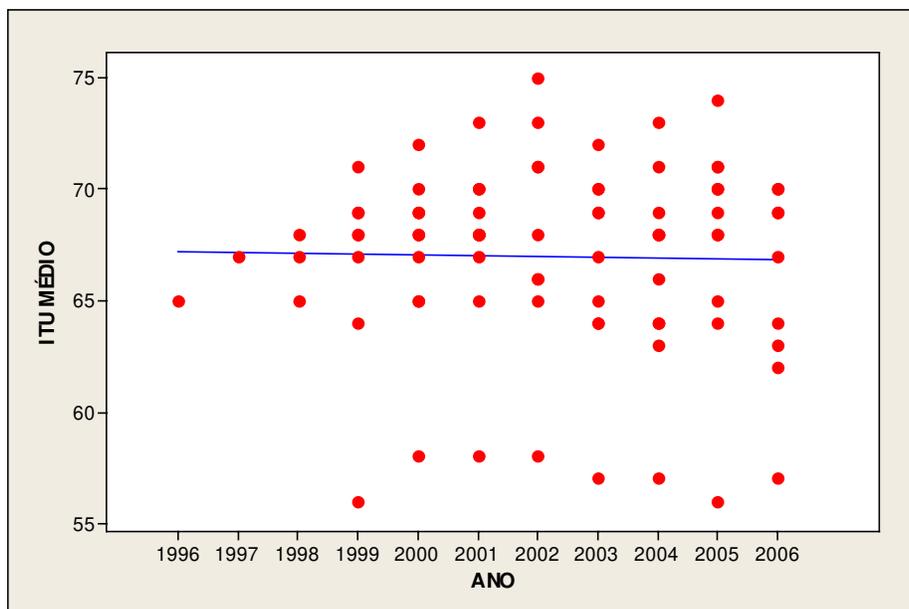


Figura 33. Gráfico de pontos discriminados para o ITU médio ao longo dos anos no Vale do Paraíba.

Na Figura 34 é possível constatar a tendência de aumento do ITU máximo ao longo dos anos. É observado que essa tendência não foi maior porque os valores de Campos de Jordão pelas particularidades geográficas do município (representado pelos dois pontos no eixo x), impediram o deslocamento para cima da reta, se no gráfico fossem desconsiderados esses valores o deslocamento crescente da reta seria muito acentuado.

O aumento do ITU máximo está relacionado com os aumentos da temperatura máxima. De acordo com MOURA (2003), estudos realizados sobre o Vale do Paraíba demonstram que o clima já foi mais frio e hoje segue a tendência mundial do aquecimento global, ligado ao efeito estufa, causado principalmente pelas partículas de carbono e metano desprendidas na atmosfera devido à poluição ocasionada pela emissão de poluentes decorrentes de veículos, indústrias e atividades agropecuárias a região representa um grande pólo industrial.

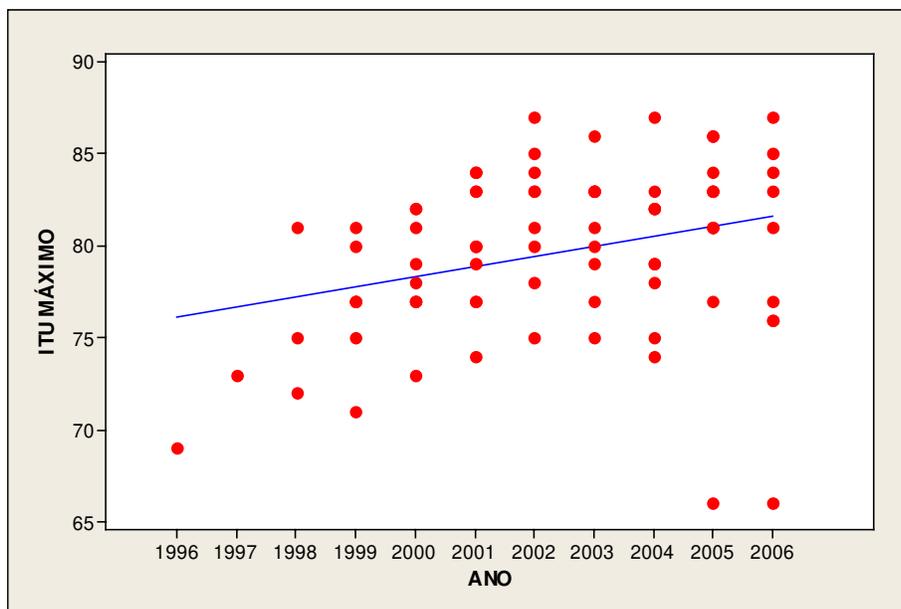


Figura 34. Gráfico de pontos discriminados para o ITU máximo ao longo dos anos no Vale do Paraíba.

### 5.5 Simulação do declínio na produção de leite em função do ITU durante as ondas de calor por bacia leiteira

O uso do ITU local para calcular declínio de produção de leite em animais com diferentes níveis de produções é bastante utilizado na caracterização dos zoneamentos, como em KLOSOWSKI et al. (2002), observaram em Maringá no Paraná maior declínio na produção de leite no mês de dezembro estendendo-se até março. CAMPOS et al. (2001), em trabalho realizado em Goiânia/GO obtiveram para os meses de dezembro a março perdas de 6,0 a 6,8 kg/dia de leite, para animais com produção média de 30kg/dia de leite. Outras correlações têm sido feitas entre a produção e composição do leite de acordo com o valor de ITU, BOURAOUI et al. (2002) em dois experimentos na Tunísia, conduzidos com vacas holandesas um na primavera e outro no verão com ITU médio de  $68 \pm 3,75$  e  $78 \pm 3,23$ , foram encontradas reduções de 2,88 e 2,96 % de proteína e 3,24 e 3,58% de gordura para verão e primavera respectivamente.

AGUIAR (1996), pesquisando a produção de leite de vacas holandesas em função da temperatura do ar e do índice de temperatura e umidade em Areiópolis no estado de São Paulo, concluiu que o estresse brando é alcançado com temperaturas de até 27°C e ITU de 72

por um período de 4 horas por dia. Esta situação ocorrendo durante cinco dias no mínimo causou declínio na produção de leite nas fases de termoneutralidade subsequentes. Segundo MACHADO (1998), o valor de ITU igual a 72 pode ser alcançado com temperaturas tão baixas quando 23°C quando a umidade relativa for superior a 95% ou quando a temperatura for de 25°C com umidade de 50%, e nas condições do Estado de São Paulo, ITU superiores a 72 são facilmente alcançados.

Algumas simulações foram realizadas para estimar o efeito do estresse calórico sobre o declínio na produção de leite (DPL) utilizando o ITU médio encontrado nas três bacias leiteiras durante ondas de calor ocorridas nessas regiões. Essa simulação avaliou as relações entre ambiente climático e o desempenho de vacas leiteiras, em função do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e do nível normal de produção (NP) para 20, 25, 30, 35 e 40 kg.dia<sup>-1</sup> de leite. O valor médio durante os eventos foram, 82 para Ribeirão Preto e São José do Rio Preto e 82,9 para o Vale do Paraíba.

A partir desses dados foi feita uma tabulação estatística que sumariza a distribuição do DPL médio utilizando a fórmula proposta por BERRY et al. (1964). A exploração dos dados foi realizada através de uma análise comparativa por meio do gráfico de boxplot comparando os DPL médios das 3 bacias, como é mostrado na Figura 35.

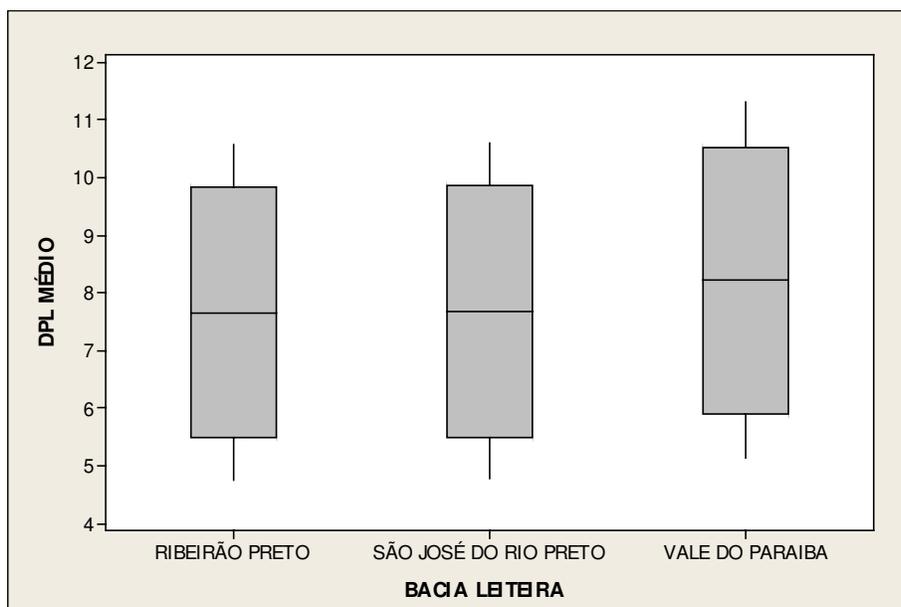


Figura 35. Gráfico boxplot comparativo do DPL médio das bacias leiteiras utilizando o ITU médio encontrado durante o evento de onda de calor.

De acordo com a Figura 35, observa-se que a distribuição do DPL médio na região do Vale do Paraíba é ligeiramente superior às demais, porém considerando-se o teste comparativo para a mediana destas distribuições (teste Kruskal-Wallis, Tabela 9) não se encontrou diferenças significativas entre elas ( $P = 0,779$ ). Com isto, pode-se afirmar que o possível impacto das ondas de calor sobre a produção de leite, estimado através do DPL, não apresentou diferenças quando analisado estatisticamente, concluindo que estas áreas foram afetadas de forma similar, já que no caso considerou-se o ITU médio e não a magnitude das ondas.

Tabela 9. Valores encontrados para as bacias leiteiras através do teste de Kruskal-Wallis.

Bacia Leiteira	N	Mediana	Rank médio	Z
Ribeirão Preto	5	7,651	7	-0,61
São José do Rio Preto	5	7,682	8	0
Vale do Paraíba	5	8,208	9	0,61
Rank Geral	15		8	
H = 0,50				
DF=2				
P =0,779				

## 5.6 Validação do declínio na produção de leite

Analisando o histograma comparativo, da Figura 36, percebe-se uma superestimação por parte dos resultados do DPL estimado em relação ao DPL observado.

Para a confirmação da superestimação detectada fez-se o teste T para amostras pareadas, seus resultados estão apresentados na Tabela 6. Nesse teste comprovou-se que a diferença entre o DPL médio e o DPL estimado é estatisticamente significativa ( $P < 0,0001$ ), confirmando a hipótese apresentada através do gráfico mostrado na Figura 38.

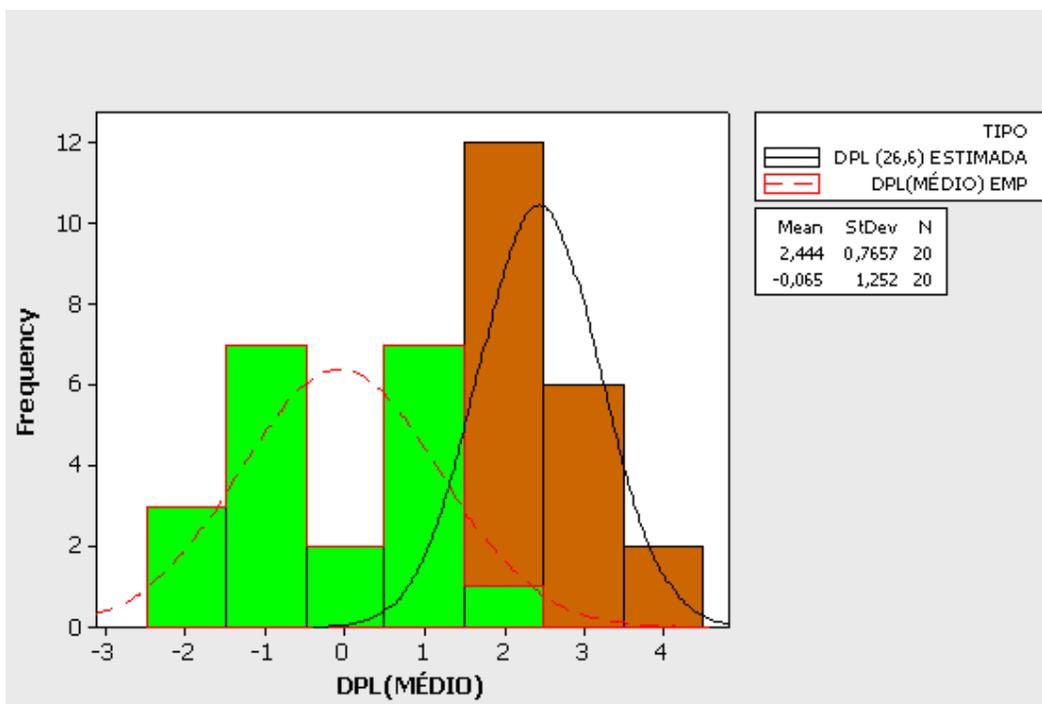


Figura 36. Histograma de comparação entre DPL observado e DPL estimado.

Tabela 10. Valores encontrados na comparação do DPL observado e DPL estimado após teste T.

	N	Média	Desvio padrão	Erro padrão
DPL (Médio)				
Observado	20	-0,065	1,2164	0,27988
DPL (26,6)				
Estimado	20	2,4435	0,7672	0,17122
Diferença	20	-2,5085	1,26318	0,28245

Apesar de se verificar na Figura anterior que a fórmula de BERRY et al. (1964) produz valores superestimados, como foi comprovado nos testes anteriores, observou-se na Figura 37 que o modelo apresentou resultados correlacionados com os valores reais observados de perda de produção o que indica que a fórmula é eficiente, mas necessita de ajustes por meio de calibração.

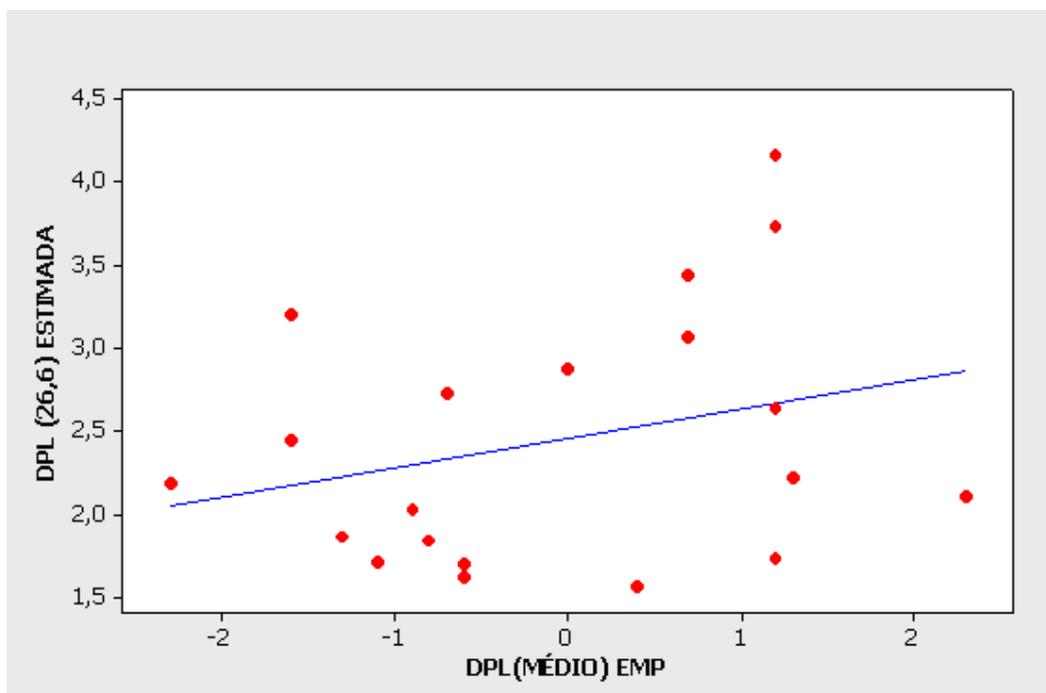


Figura 37. Distribuição dos pontos plotados em relação aos valores encontrados de DPL estimado e DPL (médio).

Dois situações prováveis podem ser usadas para explicar a superestimação do DPL estimado para os dados produtivos desta fazenda. Para o desenvolvimento da fórmula proposta por BERRY et al. (1964) foram feitos testes sob condições controladas, JOHNSON (1965), aplicou esses dados em trabalhos de campo em diferentes regiões dos Estados Unidos e obteve os mesmos resultados. Levando-se em conta que a genética atual dos animais é diferente dos animais utilizados nos anos 60 e que de acordo com vários pesquisadores (FOLLAND et al., 2001, HOUGHTON et al., 2001 e IPCC 2001), a temperatura média da Terra vem sofrendo aumento nas últimas décadas, faz com que, os animais tenham que se adaptar a essa nova condição, não respondendo fisiologicamente da mesma forma que os animais de 40 anos atrás.

A segunda explicação pode estar relacionada ao uso dos sistemas de resfriamento evaporativo, aspersores e ventiladores, que pode ter amenizado a sensação térmica dentro do *freestall*, além do galpão possuir telhado de telhas cerâmicas e um alto pé direito o que reduz a carga térmica radiante que entra na instalação. CHASTAIN e TURNER (1994) relataram que o efeito do estresse calórico na produção diária de vacas submetidas à ventilação associada à aspersão em local sombreado pode ser reduzido, ocasionando aumento de 12% na

produção de leite. Também, BUCKLIN et al. (1991), afirmaram que o resfriamento das vacas, através do uso de aspersores de água associados à ventilação forçada, proporciona resultados benéficos com relação ao consumo de alimentos, produção de leite, temperatura retal e respiração. Muitos trabalhos têm demonstrado o efeito da aspersão para a redução do estresse térmico no estado de São Paulo, MARTELLO (2002), SOUZA (2002), PERISSINOTTO (2004) e MATARAZZO (2004).

A mesma situação foi encontrada por RAVAGNOLO e MISZTAL (2002), que mensurando os efeitos do ITU sobre a produção de leite de vacas holandesas no Estado da Geórgia encontraram valores de ITU de 72 para o Norte e 76 para o Sul do Estado. Os dados de produção das fazendas do Sul não mostraram correlação com o valor de ITU.

Os autores concluíram que isso ocorreu, pois muitas fazendas no Sul usavam o resfriamento evaporativo, além do que, os animais nesta região, acabam se adaptando a estas condições mais quentes. Segundo os mesmos autores o ideal para pesquisa do declínio da produção de leite em relação ao ITU seria impor um limite crítico para cada fazenda, através da observação da adaptação do animal à condição a qual ele está exposto, as condições climáticas da região e o tipo de sistema de resfriamento, caso este seja usado.

## 6 CONCLUSÕES

Foram estimadas as perdas na produção leiteira em função da ocorrência de ondas de calor nas principais bacias leiteiras do Estado de São Paulo, onde se pode chegar as seguintes conclusões:

- Ao analisar a ocorrência de ITUs médios no Estado de São Paulo, observa-se que o clima não apresenta grandes riscos à produção leiteira, com exceção de alguma regiões durante determinados períodos do ano;
- Ao analisar a ocorrência de ITUs críticos médios maiores que 74, observou-se que a única região que apresentou valores críticos para a produção leiteira ao longo dos anos foi Caraguatatuba;
- A região de Caraguatatuba também apresentou os maiores valores de ITU noturno  $\geq 76$  que ocorreram no maior número de horas encontrado. Por outro lado, outras regiões mesmo apresentando altos valores de ITU ao longo do dia, apresentaram o menor número de horas de ITU crítico noturno indicando uma provável recuperação dos animais ao estresse térmico diurno;
- Os municípios da bacia leiteira do Vale do Paraíba foram os que apresentaram o maior número de ondas de calor por ano assim, como o município de Presidente Prudente;

- Nem sempre as ondas de calor de maior duração apresentaram maior intensidade de ocorrência;
- Ao comparar as perdas na produção de leite simulando o declínio na produção foi observado que estas bacias possuem o mesmo potencial bioclimatológico;
- Foi possível validar as perdas produtivas estimadas com os valores médios de produção obtidos no controle leiteiro de uma fazenda comercial, porém observou-se que os valores de DPL estimado foram muito maiores do que as perdas observadas devido à adaptação do rebanho às condições climáticas atuais e por não prever o uso de equipamentos de climatização.
- Concluiu-se que o estudo da ocorrência de ondas de calor mostra de forma mais efetiva o efeito do estresse térmico sobre a produção leiteira, o que praticamente não pode ser visualizado no estudo da ocorrência de ITUs médios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, I.S.; BACCARI JR., F.; GOTTSALK, A.F. et al. Produção de leite de vacas Holandesas em função da temperatura do ar e do índice de temperatura e umidade. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. p.617-619.
- AMS. 1989. **Glossary of Meteorology**, 5th Edition. Am. Meteorological Society. Boston, MA.
- ANDERSON, B.E. Regulação da temperatura e fisiologia ambiental. In: DUKES, H. H.; SWENSON, M. J. **Fisiologia dos animais domésticos**. 10. ED. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.623-629. 1988.
- ARMSTRONG, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, v.77, p.2045-2050, 1994.
- BACCARI JUNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: UEL, 2001. 142p.
- BACCARI JUNIOR, F; Aguiar, I. S.; TEODORO, S. M. Hipertermia, taquipnéia e taquicardia em vacas holandesas malhadas de vermelho sob estresse térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA. Jaboticabal, 1995. **Anais...** Jaboticabal; FUNEP, 1995, p. 15-16.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.
- BALLONE, G. J. **Estresse**. In: PsqWeb, Programa de Psiquiatria Clínica na Internet. São Paulo, Campinas. 1999. Disponível em <http://meusite.osit.com.br/ballone>. Acesso em 10 de julho de 2005.

- BERRY, I. L.; SHANKLIN, M. D.; JOHNSON, H. D. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. **Trans. ASAE** 7: 329-331. 1964.
- BIANCA, W. Heat tolerance in cattle its concepts: measurement and dependence on modify factors. **International Journal of Biometeorology**, v. 5, p. 5-30, 1961.
- BLACKSHAW, J. K.; BLACKSHAW, A. W. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behavioral: a review. **Australia Journal of Experimental Agriculture**, v. 34, p. 285 – 295. 1994
- BOURAOUI, R.; LAHMAR, M.; MAJDOUB, A.; DJEMALI, M. ; BELYEA, R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. **Anim. Res.** 51 (2002), p. 479-491.
- BOWLER, P. J. **The environment science**. New York: W. W. Norton and Company, 1993. p315.
- BRACKE, M. B. M.; METZ, J. H. M.; DIJKHUIZEN, A. A.; SPRUIJT, B. M. Development of a decision support system for assessing farm animal welfare in relation a husbandry system: strategy and prototype. **J. Agric. Environ. Ethics** 14, p.321-337. 2001.
- BRODY, S., RAGSDALE, A.C.;YACK, R.G.; WORSTELL, D. 1955. Milk production, feed and water consumption and body weight of Jersey and Holstein cows in relation to several diurnal temperature rhythms. *Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 578.
- BROOM, D. M. Indicators of Poor Welfare. **British Veterinary Journal** 142. p. 524-526, 1986.
- BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal Animal Science**, v.69, n.10. p.4167-4175, Oct. 1991.
- BUCKLIN, R.A.; BEEDE D.K.; BRAY, D.R. Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. **Applied Engineer Agricultural**, v.7, n.2, p.241-252, 1991.
- BUCKLIN, R. A.; BRAY, D.R. The American experience in dairy management in warm and hot climates. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba, 1998. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.56-174.
- 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 ASAE**, v. 24, p.711-714, 1981.

- CAMPOS. A. T.; PIRES. M. F. A.; SILVA JUNIOR. J. L.C.; COSTA. L.C. **Zoneamento bioclimatológico da região Sudeste do Brasil para prognóstico na produção de leite e na taxa de concepção de vacas Holandesas em função do Índice de Temperatura e Umidade**. Embrapa Gado de Leite. Disponível em <http://www.cnpgl.embrapa.br> Acesso em 16 de março de 2005.
- CHASTAIN, J.P.; TURNER, L.W. Practical results of a model of direct evaporative cooling of dairy cows. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, Orlando, Flórida, 1994, **Dairy systems for the 21st century**. Orlando: ASAE, 1994. p.337-352.
- CAPPA, V.; VAZHAPILLY, P.; MAIANTI, M. G. et al. Effect of environment variations (microclimate) on the performance of dairy cows. **Scienza e tecnica Latiero-Casearia**, v. 40, p. 98-115, 1989.
- CLARK, J. A. **Environment aspects of housing for animal production**. London: Butterworths, 1981.511p.
- CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de Fisiologia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 528p. 1999.
- DU PREEZ, J. H. Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South África. **Onderstepoort Journal Veterinary Research**, v. 67, 2000, p. 263-271.
- DU PREEZ, J. H.; GIESECKE, W. H. ; HATTINGH, P. J. ; EISENBERG, B. E. Heat stress in dairy cattle under Southern African Conditions. II. Identification of areas of potential heat stress during summer by means of observe true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort Journal Veterinary Research**, v. 57, p. 183-187, 1990.
- ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. West Port: ABI, 1982. 352p.
- FEHR, R. L.; PRIDDY, K. T.; MCNEILL, S. G.;OVERHULTS, D. G. Limiting swine stress with evaporative cooling in the Southeast. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.12, p.542-5, 1983.
- FINDLAY, J. D. Hannah Dairy Res. **Inst. Bull.** No. 9. 1950
- FOLLAND, C.K., T.R. KARL, J.R. CHRISTY, R.A. CLARKE, G.V. GRUZA, J. JOUZEL, M.E. MANN, J. OERLEMANS, M.J. SALINGER and S.W. WANG, Observed Climate Variability and Change. In: Climate Change 2001: the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. J. T. Houghton et al., Cambridge Univ. Press, 2001.

- FRASER, A. F.; BROOM, D. M. **Farm animal behavior and welfare**. 3<sup>o</sup> ed. London: Bailliere Tindall, 1990, 437p.
- FUQUAY, J.W. Heat stress as it affects animal production. **Journal of Animal Science**, v.52, p.164-182, 1981.
- GRANT, R. J.; ALBRIGHT, J.L. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.73, p.2791-2803, 1995.
- HAFEZ, E. S. E. **adaptación de los animales domésticos**. Barcelona: Editorial Labor, 1973. 563 p.
- HAHN, G. L.; MADER, T. L. Heat waves in relation of thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 5., Minnesota, 1997. Proceedings. St. Joseph: **ASAE**, 1997.p.125-129.
- HAJAT S. et al. Impact of the hot temperatures on death in London: a time series approach. **Journal of Epidemiology and Community Health**, 56:367-372. 2002.
- HOUGHTON. J. T. et al., eds. Climate Change (2001): The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press. 2001.
- HUBBARD, K. G.; STOCKSBURY, D.E.; HAHN, G.L. A climatological perspective on feedlot cattle performance and mortality related to the THI. Reprints Tenth Conference on Applied Climatology. **American Meteorological Society**. Boston, MA, 349-353. 1997.
- HUBER, J. T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: Simpósio sobre Bovinocultura Leiteira. Piracicaba: Fealq., 1990. p.33-48.
- HUHNKE, R. L.; McCOWAN, L. C.; MERAZ, G. M.; HARP, S. L.; PAYTON, M. E. Using evaporative cooling to reduce the frequency and duration of elevated temperature-humidity indices in Oklahoma. **American Society of Agriculture Engineering. ASAE Paper** 014111. v. 20, p.95-99. 2003.
- HUHNKE, R. L.; McCOWAN, L. C.; MERAZ, G. M.; HARP, S. L.; PAYTON, M. E. Determining the frequency and duration of elevated Temperature-Humidity Index. **American Society of Agriculture Engineering. ASAE Paper** 01-4111. 2001, 12p.
- HURNIK, J. **Behaviour, farm animal and the environment**. Cambridge: CAB International, 1992. 430p.

- IGONO, M. O.; JOHNSON, H. D. Physiologic stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature Summer season. **Journal of Dairy Science**, v. 68, p. 979-985. 1992.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGES. Climate Change 2001: Impacts Adaptation and Vulnerability. Genebra, Suiça, 2001.
- JOHNSON, H. D. Bioclimatology and adaptation of livestock. Amsterdam: Elsevier, 1987. 279p.
- JOHNSON, H. D. Environmental Management of Cattle to Minimize the Stress of Climatic Change. **International Journal Biometeorology**, v. 24, p. 65-78, 1980.
- JOHNSON, H. D. Environmental temperature and lactation with special reference to cattle. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v.9, p.103-16, 1965.
- JOHNSON, H. D. RAGSDALE A. C.; BERRY, I. L et al. **Effects of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle**. Columbia-Missouri Agricultural Experimental Station, 1962. (Research Bulletin, 791).
- KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T.; GASPARINO, E. Estimativa do declínio na produção de leite em período de verão para Maringá-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n.2, p. 283-288. 2002.
- LALONI, L.A., NÄÄS, I.A., MACARI, M., PEREIRA, D.F., PINHEIRO, M.G. Model for predicting milk production in jersey cows in hot weather. **ASAE** paper 701P0203 p. 320-324. 2003.
- LEAL, P. M.; NÄÄS, I. A. Ambiência animal. In: CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. **G. Introdução à Engenharia Agrícola**. São Paulo. Editora Unicamp. p. 121-135. 1992.
- LEGATES, J. E. et al. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 74, p. 2491-2500, 1991.
- LINVILL, D. E., and F. E. PARDUE. 1992. Heat stress and milk production in the South Carolina Coastal Plains. *J. Dairy Sci.* 75:2598–2604.
- MACDOWELL, R. G. **Improvement of livestock production in warm climates**. San Francisco: Freeman, 711 p. 1972.
- MADER, T.L.; HU, Q.S.; HARRINGTON, J.A. Evaluating models predicting livestock output due to climate change. Em

- <http://www.gprenigec.unl.edu/research/attachments/Annual%20Reports%2003-04/Mader%202003-04%20Annual%20Report.doc> Acesso em 10/10/2006.
- MARQUES, D. Calor: Conhecimentos e cuidados para minimizar seus efeitos sobre os frangos. Amparo: **CASP**, 1992. 11p.
- MARTELLO, L. S. **Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em free-stall**. Pirassununga, 2006. Tese de doutorado - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, universidade de São Paulo.
- MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JR.H.; SILVA, S. L.; TITO, E. A. L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.181-191, 2004.
- MARTELLO, L. S. **Diferentes recursos de climatização e sua influência na produção de leite, na termorregulação dos animais e no investimento das instalações**. Pirassununga, 2002. dissertação de mestrado – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, universidade de São Paulo.
- MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR.; SILVA, S. L.; TITO, E. A. L.; PEREIRA, A. M. F. Avaliação do consumo e produção de leite de múltiparas e primíparas submetidas a diferentes ambientes. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12. 2002, Villa Real. **Anais...** Villa Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros zootécnicos, 2002. p. 470-3.
- MATARAZZO, S.V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento do tipo freestall para vacas em lactação**. Piracicaba, 2004. Tese de doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- MEEHL, GA and C. TEBALDI, 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. **Science**, 305 (5686): 994-997.
- MOTA, L.S. **Adaptação e interação genótipo-ambiente em vacas leiteiras**. Ribeirão Preto, 1997. 69p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
- MOURA, F. **Degradação Ambiental Muda Clima do Vale**. Vale Verde (Associação de Defesa do Meio-Ambiente). Disponível em: <http://www.valeverde.org.br/html/midia2.php?id=17> Acesso em 21/07/2006.

- MULLER, P. B., **Bioclimatologia Aplicada aos animais Domésticos**. 3ª Edição, Ed. Sulina.1989.262p.
- NÄÄS, I. A. **Princípio de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183p.
- NIENABER, J. A.; HAHN, G. L. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: **Proceedings**, International Symposium of The Cigr. New Trends In Farm Buildings, Lecture 6, 1-18. May 2-6, 2004, Evora, Portugal. 2004 Cdrom.
- NIENABER, J. A.; HAHN, G. L.; T. M BROWN-BRANDL; R.A EIGENBERG Heat Stress Climatic Conditions and physiological Responses of Cattle. In: Proceedings. In: International Dairy Housing Conference, 5, Fort Worth, 2003. **Proceedings**. Fort Worth: ASAE, 2003.
- NORDHUIZEN, J.P.T.M. Quality management at dairy farm level (microbiological contamination with emphasis on zoonoses). IDF World Dairy Summit, Bruges Belgium, September 2003. **Proc**. Pages 241-251, IDF bulletin 386 (2004).
- OLIVER, J. C. H. M. HELLMAN, S. E. BISHOP, C. L. PELISSIER L. F. BENNETT. 1979. **Heat stress survey**. Calif. Agric. 33: 6-8.
- PERISSINOTTO, M. **Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistema de climatização em galpões tipo “freestall” para confinamento de gado leiteiro**. Piracicaba, 2003. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- PIRES. M. F. A; SILVA JUNIOR. J. L. C; CAMPOS. A. T; COSTA. L.C. **Zoneamento bioclimatológico da região sudeste do Brasil, para gado leiteiro usando o índice de Temperatura e Umidade**. Embrapa Gado de Leite. Disponível em: <http://www.cnpql.embrapa.br>. Acesso em 16 de março de 2005.
- RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I. Studies on genetics of heat tolerance in dairy cattle with reduced weather information via cluster analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p.1586-1589. 2002.
- REECE, W. O. Respiração nos mamíferos. In: DUKES, H. H.; SWENSON, M. J. **Fisiologia dos animais domésticos**. 10. ED. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.199-205, 1988.

- ROSEMBERG, L. G.; BIAD, B. L.; VERNIS, S. B. Human and Animal Biometeorology In: **Microclimate - the biological environment**. 2. ed. New York: Wiley- Interscience, 1983 p. 425-467.
- SCOTT, I., M., H. D. JOHNSON and G. L. HAHN, 1983. Effect of programmed diurnal temperature cycles on plasma thyroxine level, body temperature, and feed intake of Holstein dairy cows, **Int'l. J. Biometeorology** 27(I): 47-62.
- SELVE, H. **Stress without distress**. New York: New American Library, 1975. 193p.
- SHEARER, A. K.; BEEDE, D. K. Heat Stress, part 1: Thermoregulation and physiological responses of dairy cattle in hot weather. **Agri- Practice**, v.11, p. 5-17, 1990.
- SILVA, I. J. O. Climatização das instalações para bovino leiteiro. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba, 1998. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 1998. p.114-145.
- SILVA, I. J. O. Vacas produzem mais e melhor em ambientes adequados. **Balde Branco**, v. 35, p. 20-27. Mar 1999.
- SOUZA, B. B. Avaliação da adaptabilidade de ovinos de diferentes genótipos às condições climáticas do semi-árido através de respostas fisiológicas e gradientes térmicos. In: Congresso Pernambucano de Medicina Veterinária, 5.; SEMINÁRIO NORDESTINO DE CAPRINO-OVICULTURA, 6., 2003, Recife. **Anais...**Recife [s.n], 2003. p. 281-282.
- SOUZA, S.R.L.; MARCHETO, F.G.; NÄÄS, I.A.; SALGADO D.D. Efeito das temperaturas de bulbo seco e de globo negro e do índice de temperatura e umidade, em vacas em produção alojadas em sistema de free-stall. **Brazilian Journal of Veterinary Research. Animal Science**. vol.39 no.6 São Paulo 2002
- THOM, E. C. The Discomfort Index. **Weatherwise**, v.12p.57-59, 1959.
- TOATES, F. **Stress: Conceptual and Biological Aspects**. Wiley, Chichester, 1995.
- TURCO, S.H.N.; SILVA, T.G.F.; SANTOS, L.F.C; RIBEIRO, P.H.B; ARAÚJO, G.G.L.; HOLANDA JUNIOR, E.V.; AGUIAR, M.A. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado da Bahia. **Eng. Agric. Jaboticabal**, v.26, n.1, p.20-27, jan./abr. 2006.
- USDA-ESSA. 1970. Livestock hot weather stress. Central Regional Operations Manual Letter 70-28. Environmental Sciences Services Admin., U.S. Dept. Commerce, Kansas City, MO.

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

YOUSEF, M. K.; JOHNSON, H. D. Endocrine system and thermal environment. In: YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC Press, 1985, v.1, p.133-142.