

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/01/2025

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until January 27, 2025

NATHIELY ZIVIANI COSTA

**UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DA AMBIÊNCIA DE
PRECISÃO EM GALPÕES DE VACAS EM LACTAÇÃO**

Botucatu

2023

NATHIELY ZIVIANI COSTA

**UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DA AMBIÊNCIA DE
PRECISÃO EM GALPÕES DE VACAS EM LACTAÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Sílvia Regina Lucas de
Souza

Coorientador: Vasco Manuel Fitas da
Cruz

Botucatu

2023

C837u	Costa, Nathiely Ziviani Utilização e desenvolvimento de ferramentas da ambiência de precisão em galpões de vacas em lactação / Nathiely Ziviani Costa. -- Botucatu, 2023 97 p. : il., tabs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientadora: Sílvia Regina Lucas de Souza Coorientadora: Vasco Manuel Fitas da Cruz 1. Interpolação de dados.. 2. Monitoramento do conforto térmico e bem-estar.. 3. Mastite bovina.. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

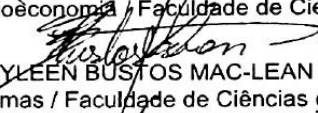
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DA AMBIÊNCIA DE PRECISÃO EM GALPÕES DE VACAS EM LACTAÇÃO

AUTORA: NATHIELY ZIVIANI COSTA
ORIENTADORA: SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA
COORIENTADOR: VASCO MANUEL FITAS DA CRUZ

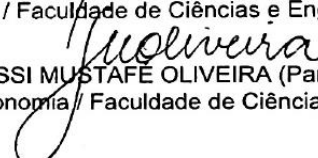
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHEIRO AGRÍCOLA, pela Comissão Examinadora:



Prof.ª Dr.ª SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof.ª Dr.ª PRISCILLA AYLEEN BUSTOS MAC-LEAN MEGNA (Participação Presencial)
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP



Prof.ª Dr.ª KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 27 de janeiro de 2023

À minha amada mãe, Ana Paula Médici Ziviani, minha
querida avó, Helena Maria Médici Ziviani e minha irmã,
Nathália Ziviani Costa, dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida.

À minha amada mãe, Ana Paula Médici Ziviani, pelas lições de amor, companheirismo, amizade, abnegação, compreensão e dedicação ao longo desses anos. Sinto-me orgulhosa e privilegiada por ser sua filha.

À minha avó querida, Helena Maria Médici Ziviani e minha irmã, Nathália Ziviani Costa, por todo amor e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. A existência de vocês é o reflexo mais perfeito da existência de Deus.

À minha família, pai, tio (a), primas e cunhado, por apoiarem e compreenderem minha trajetória.

À minha orientadora, Dr.^a Sílvia Regina Lucas de Souza, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação. Agradeço por acreditar em mim e pelos tantos elogios e incentivos. Para mim, sempre será mestre e amiga.

Ao coorientador, Dr. Vasco Manuel Fitas Cruz, pela oportunidade concedida para realização deste projeto e dissertação.

Aos professores, em especial ao Dr. José Carlos de Figueiredo Pantoja, pelas conversas de incentivo, apoio e todo conhecimento compartilhado. Embora o destino nos tenha traçado caminhos diferentes, o respeito e carinho permaneceram.

Aos meus amigos, vocês foram imprescindíveis para mim.

Aos produtores, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com o meu sonho.

Aos funcionários e colegas do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia que contribuíram, direta ou indiretamente, o meu sincero agradecimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

“Ele dá força ao cansado e fortalece o que não tem vigor. Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços cairão, mas os que esperam no Senhor renovarão suas forças; subirão com asas como águias; correrão e não cansarão; andarão e não se fatigarão.”

Isaías 40:29 - 31. Bíblia de Aparecida. Editora Santuário, 16ª, 2022. p.1504.

RESUMO

Os agentes climáticos influenciam no desempenho animal, exigindo o estudo e planejamento das instalações para minimizar os efeitos negativos dos fatores extrínsecos. A produtividade e saúde das vacas lactantes estão diretamente relacionadas ao conforto e bem-estar proporcionado pelas instalações. O avanço da pecuária leiteira instiga à tecnificação do sistema de produção, empregando tecnologias de precisão através dos sistemas de monitoramento por sensores e sistemas de ordenhas robotizadas (SOR). No Brasil, poucos trabalhos mensuram as interferências do macro e microclima sob os parâmetros fisiológicos, produtivos e comportamentais, mencionando o conforto e bem-estar dos animais submetidos ao SOR. Assim, os objetivos desse projeto foram: mensurar os indicadores ambientais que interferem diretamente no sistema produtivo e do bem-estar de vacas leiteiras, bem como reduzir a incidência de doenças que oneram na produção leiteira através do diagnóstico precoce e desenvolver um aplicativo para monitoramento do ambiente de instalação, propondo medidas mitigatórias frente aos diferentes níveis de estresse térmico. Para tanto, utilizou-se dois rebanhos leiteiro comercial no Estado de São Paulo. Quanto às coletas de dados ambientais, foram utilizados equipamentos com tecnologia de baixo custo. Desta forma, os dados zootécnicos necessários para a análise foram coletados diretamente dos programas de gerenciamento das propriedades participantes e submetidos a uma análise descritiva. Posteriormente, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) e, se necessário, o teste de *Tukey* ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico *Jamovi* versão 2.3.21. Os resultados dessa pesquisa poderão ser aplicados em propriedades rurais para prevenção e manejo racional das vacas em lactação submetidas ao SOR, bem como para o acompanhamento da climatização do ambiente.

Palavra-chave: zootecnia de precisão; pecuária leiteira; ordenha robotizada; bem-estar.

ABSTRACT

Climatic agents influence animal performance, requiring the study and planning of facilities to minimize the negative effects of extrinsic factors. The productivity and health of lactating cows are directly related to the comfort and well-being provided by the facilities. The advancement of dairy farming instigates the technification of the production system, using precision technologies through sensor monitoring systems and robotic milking systems (SOR). In Brazil, few works measure the interference of the macro and microclimate under the physiological, productive and behavioral parameters, mentioning the comfort and well-being of the animals submitted to SOR. Thus, the objectives of this project were: to measure the environmental indicators that directly interfere with the production system and the well-being of dairy cows, as well as to reduce the incidence of diseases that burden dairy production through early diagnosis and to develop an application to monitor the installation environment, proposing mitigation measures against different levels of thermal stress. For that, two commercial dairy herds in the State of São Paulo were used. As for the collection of environmental data, equipment with low-cost technology was used. In this way, the zootechnical data necessary for the analysis were collected directly from the management programs of the participating properties and submitted to a descriptive analysis. Subsequently, the Analysis of Variance (ANOVA) and, if necessary, the Tukey test ($p < 0.05$) were performed using the statistical program Jamovi version 2.3.21. The results of this research can be applied in rural properties for the prevention and rational management of lactating cows subjected to SOR, as well as for monitoring the climate of the environment.

Keywords: precision zootechnics; dairy farming; robotic milking; welfare.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Figura 1	– Consequências dos fatores intrínsecos e extrínsecos que afetam bovinos leiteiros	31
Figura 2	– Zona de sobrevivência, homeotermia e de conforto térmico de animais homeotérmicos	34
Figura 3	– A) Exemplo de área de pastejo com sombra natural; B) Exemplo de bezerreiro coletivo com sombra artificial, sombrite ...	35
Figura 4	– A) Exemplo de instalação com pista de alimentação com sistema de resfriamento por ventiladores; B) Exemplo de instalação com área de descanso com sistema de resfriamento adiabático	37
Figura 5	– <i>Datalogger</i> HOBO U12-012 para coleta das variáveis climatológicas	38
Figura 6	– Planta baixa sem escala da área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil. A área do fosso está identificada pela linha tracejada amarela e, em vermelho, a sala de espera	41
Figura 7	– Fluxograma de entrada, processamento e saída de dados no aplicativo	43
Figura 8	– Posicionamento dos dispositivos portáteis Aurora em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil. A distância entre os sensores está em metros (m)	44
Figura 9	– Posicionamento do <i>datalogger</i> para medição das variáveis climatológicas em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil	44
Figura 10	– Mapas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) criados pelo aplicativo Aurora para bovinos de leite para os períodos matutino (A) e vespertino (B) em área experimental delimitada na fazenda comercial, Pardinho/ SP, Brasil	47
Figura 11	– Mapas de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) criados	

	pelo aplicativo Aurora para bovinos de leite das salas de espera, sendo: A) ambiente coberto e B) ambiente externo, com exposição solar	48
Figura 12	– Estatística descritiva das temperaturas: ocular (TO), retal (TR), corpórea (TSC) e de úbere (TSU) das vacas em lactação entre os meses de julho e novembro	52

CAPÍTULO 2 – APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR EM VACAS LEITEIRAS

Figura 1	– Fluxograma de informação em um sistema de automação	61
Figura 2	– Aplicativo <i>CowmFort</i> , sendo: A) tela inicial; B) tela para cálculo do índice de conforto térmico e C) informações sobre o aplicativo	67
Figura 3	– Validação do cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para bovinos de leite, sendo: A) animal em conforto térmico; B) animal em estresse leve; C) animal em estresse moderado; D) animal em estresse severo e E) alerta de hipertermia	68

CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO

Figura 1	– A) vaca sendo identificada no portão de acesso pela leitura do microchip; B) cocho para fornecimento do concentrado	74
Figura 2	– A) higienização do teto; B) teteiras acopladas ao úbere da vaca	76
Figura 3	– Painel de controle	78
Figura 4	– Tipos de tráfego, sendo: A) fluxo livre; B) alimento primeiro; C) leite primeiro	80
Figura 5	– Dispositivo para identificação precoce de casos clínicos e subclínicos de mastite	83
Figura 6	– Dispositivo para identificação precoce de casos clínicos e subclínicos de mastite: microcontrolador	84
Figura 7	– A) Sensor de aferição e B) Sensor de aferição posicionado na	

	teteira para leitura	84
Figura 8	– Índice de Temperatura e Umidade (ITU) calculado pelo Aplicativo Orvalho®, com inserção manual dos dados de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)	87
Figura 9	– Imagem obtida por meio da câmera de infravermelho e analisada no software IRSoft®, com A) área de análise P1 (úbere) selecionada por meio da ferramenta “perfil de temperatura” e B) histograma com padrão de temperatura da área P1 (úbere)	88
Figura 10	– Leitura para diagnóstico precoce de mastite clínica e subclínica, sendo: A) realização da leitura e B) recebimento dos dados pelo aplicativo Termite 3.4	89
Figura 11	– Medição da temperatura superficial do úbere (TSU) com termômetro laser infravermelho OMEGA®	89
Figura 12	– Descritiva de grupo da temperatura superficial de úbere (TSU, °C) das vacas saudáveis e diagnosticadas com mastite aferidas pelo sensor	92

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS

Tabela 1	– Categoria de conforto térmico para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	42
Tabela 2	– Estatística descritiva das variáveis climatológicas e do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) coletas pelos <i>dataloggers</i> dos períodos matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17:30) momentos da ordenha no mês de julho	46
Tabela 3	– Estatística descritiva das variáveis climatológicas e do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) coletas pelos <i>dataloggers</i> dos períodos matutino (5h00 às 7h30) e vespertino (14h00 às 17:30) momentos da ordenha no mês de novembro	49
Tabela 4	– Estatística descritiva de grupo para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), mínimo e máximo	50
Tabela 5	– Testes Post-Hoc de <i>Tukey</i> do Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	50
Tabela 6	– Aferição das temperaturas: ocular, retal, corpórea e de úbere das vacas em lactação. Valor médio dos meses de julho e novembro	51
Tabela 7	– Descritiva de grupo das temperaturas: ocular, retal, corpórea e de úbere das vacas em lactação entre os meses de julho e novembro	51

CAPÍTULO 2 – APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR EM VACAS LEITEIRAS

Tabela 1	– Categoria de conforto térmico para o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	65
----------	--	----

CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO

Tabela 1	– Estatística descritiva dos equipamentos de aferição dos períodos matutino (7h00 às 10h30) e vespertino (14h00 às 17h30), momentos da ordenha	90
Tabela 2	– Estatística descritiva das vacas sadias e pré diagnosticadas com mastite subclínica pelo sensor, nos períodos matutino (7h00 às 10h30) e vespertino (14h00 às 17:30), momentos da ordenha	91
Tabela 3	– Teste de <i>Tukey</i> com os dados de temperatura superficial de úbere (TSU, °C) em vacas sadias e diagnosticadas com mastite subclínica	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFD	Computational Fluid Dynamics
IPF	Integração Pecuária-Floresta
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
RNAs	Redes Neurais Artificiais
Rh	Umidade Relativa
SRAE	Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo
SSP	Sistemas Silvopastoris
Ta	Temperatura do Ar
TIV	Termografia de Infravermelho
TSC	Temperatura de Superfície Corpórea
TSU	Temperatura Superficial de Úbere

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
mm	Milímetro
%	Porcentagem
Kg	Quilos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	27
Objetivo Geral	27
Objetivos Específicos	28
Estrutura da Dissertação	28
CAPÍTULO 1 – MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE SALAS DE ORDENHA POR MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DE DADOS	30
1.1 Introdução	31
1.2 Revisão de Literatura	33
1.2.1 Conforto Térmico	33
1.2.2 Índices de Conforto Térmico	34
1.2.3 Climatização para Redução do Estresse Calórico	35
1.2.4 Sensores e Controladores	37
1.2.5 Utilização da Câmera Termográfica para Avaliação do Impacto das Condições Ambientais	39
1.3 Material e Métodos	41
1.3.1 Delimitação dos Campos de Pesquisa	41
1.3.2 Índice de Temperatura e Umidade	41
1.3.3 Análise Estatística	42
1.3.4 Aplicativo Aurora	42
1.3.5 Aferição das Temperaturas das Vacas em Lactação	45
1.4 Resultados e Discussão	46
1.5 Conclusões	53
Referências	54
CAPÍTULO 2 – APLICATIVO DE MONITORAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR EM VACAS LEITEIRAS	58
2.1 Introdução	59
2.2 Revisão de Literatura	60
2.2.1 Automação de Sistemas	60
2.2.2 Sensores	60

2.2.3	Controladores	61
2.2.4	Comunicação	62
2.2.5	Controle do Ambiente para a Produção Animal	62
2.3	Material e Métodos	64
2.3.1	Delimitação dos Campos de Pesquisa	64
2.3.2	Software de Monitoramento	64
2.3.3	Índice de Temperatura e Umidade	64
2.3.4	Medidas Mitigatórias	65
2.4	Resultados e Discussão	67
2.5	Conclusões	71
	Referências	72
	CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO DE MASTITE BOVINA ATRAVÉS DE SENSOR DE BAIXO CUSTO	73
3.1	Introdução	74
3.2	Revisão de Literatura	75
3.2.1	Frequência de Ordenha e Saúde Animal	75
3.2.2	Estágio de Lactação e Ordem de Parição	77
3.2.3	Taxa de Lotação e Tipo de Tráfego	78
3.2.4	Nutrição	80
3.2.5	Mastite Bovina	81
3.3	Material e Métodos	83
3.3.1	Delimitação dos Campos de Pesquisa	83
3.3.2	Dispositivo para Detecção de Mastite	83
3.3.3	Mastite: Definição de Caso	85
3.3.4	Análise Estatística	86
3.4	Resultados e Discussão	87
3.5	Conclusões	93
	Referências	94
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	98

INTRODUÇÃO GERAL

Considerando o clima tropical, o animal torna-se mais exposto aos desafios ambientais, aumentando o interesse à criação de novas ferramentas, com funções de minimizar as alterações do ambiente e impedir eventuais modificações no sistema termorregulatório, uma vez que isso afeta prontamente o sistema límbico, em especial o hipotálamo. Havendo essa alteração, a homeostase do organismo também é impactada, demandando o consumo de maior energia metabólica, diminuindo a produtividade e gerando uma queda na imunidade, o que acarreta o aparecimento de doenças no rebanho como, por exemplo, a mastite (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Com vistas a diminuir os desafios ambientais e manter os animais em conforto térmico, verifica-se em regiões tropicais a exigência da implantação de sistemas de climatização, principalmente para vacas leiteiras em estado de lactação. Para tanto, tem-se a aplicação da ambiência de precisão, que permite um monitoramento direto na produção e a automação do processo produtivo, com maior aproveitamento da nutrição e exposição do potencial genético.

Ato contínuo, o monitoramento e controle do funcionamento do sistema físico e da manutenção da termoneutralidade animal se tornam imprescindíveis para que haja projeção da instalação. Quanto ao desenvolvimento de ferramentas e tecnologias, elas precisam atuar preventivamente nas alterações do estresse térmico, com o intuito de aumentar a produtividade e o bem-estar animal.

OBJETIVO GERAL

Mensurar os indicadores ambientais que interferem no sistema produtivo e do bem-estar animal, por meio do desenvolvimento de ferramentas relacionadas a ambiência de precisão, reduzindo a probabilidade de doenças que oneram na produção leiteira. Propor novas ferramentas de avaliação de conforto térmico e de saúde de vacas leiteiras por meio do levantamento de variáveis ambientais e temperatura superficial de úbere.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Realizar um mapeamento das condições ambientais da sala de ordenha, através de sensores de baixo custo;
- b. Desenvolver um aplicativo para monitorar o ambiente de instalação, facilitar o manejo do galpão e dos animais, além de propor medidas mitigatórias para os diferentes níveis de estresse térmico;
- c. Criar um dispositivo para identificar, de forma precoce, vacas com mastite subclínica e clínica através de sensores de baixo custo.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Referido estudo foi escrito em tópicos e capítulos independentes para fins de publicação, de modo a propiciar um melhor entendimento para o leitor:

- ✓ Levantamento de Introdução e Estudo da Arte, referentes à área de pesquisa;
- ✓ Primeiro capítulo: "Mapeamento das condições ambientais de salas de ordenha por método de interpolação de dados", que tem por objetivo realizar um teste piloto do mapeamento das condições ambientais da sala de ordenha;
- ✓ Segundo capítulo "Aplicativo de monitoramento do conforto térmico e bem-estar de vacas leiteiras", que tem como objetivo desenvolver um aplicativo para monitorar o ambiente de instalação, facilitar o manejo do galpão e dos animais, além de propor medidas mitigatórias para os diferentes níveis de estresse térmico;
- ✓ Terceiro capítulo: "Detecção de mastite bovina através de sensor de baixo custo", que tem por objetivo criar um dispositivo para identificar, de forma

precoce, vacas com mastite subclínica e clínica através de sensores de baixo custo;

- ✓ Considerações finais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os parâmetros climáticos apresentam variações entre estações de ano, relatando correlações positivas entre o índice mensurado e as temperaturas aferidas com o auxílio da termografia infravermelha.

O dispositivo portátil desenvolvido permitiu identificar diferenças de temperaturas entre os quartos mamários saudáveis daqueles acometidos com mastite bovina, havendo diferença significativa entre as temperaturas superficiais das glândulas e alterações específicas do tecido glandular.

Com a importância que o bem-estar tem assumido nos mais diversos campos da produção animal, tornou-se imprescindível a utilização de técnicas e equipamentos não invasivos para precisar o impacto dos fatores ambientais e prezem pelo conforto animal, dando suporte à decisão do produtor.

REFERÊNCIAS

- BACH, A.; CABRERA, V. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *Journal of Dairy Science*, v.100, n.9, p.7720-7728, 2017.
- NÄÄS, I.A.; FIALHO, F.B. Zootecnia de Precisão: Aplicação na Produção de leite. In: Silva, I.J.O. *Ambiência na produção de leite em clima quente*. Fealq. Piracicaba. 201p. 1998.
- PASSINI, R.; AIRES, C. C. A.; CAMPOS, J. C. D.; AKAMINE, L. A. Termografia infravermelha como ferramenta no diagnóstico de mastite subclínica em bovinos leiteiros. IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, Companhia de Editora de Pernambuco, PE, 2018.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ V. F.; SOUZA, S. R. L.; LIMA, K. A. O.; MENDES, A. S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciência Rural*, v.39, p.1492-1498, 2009.