

RODES ANGELO BATISTA DA SILVA

**DETECÇÃO DE MASTITE SUBCLÍNICA BOVINA UTILIZANDO A
TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO**

**RECIFE - PE
FEVEREIRO DE 2019**

RODES ANGELO BATISTA DA SILVA

**DETECÇÃO DE MASTITE SUBCLÍNICA BOVINA UTILIZANDO A
TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO**

Orientador: Prof. Dr. **Héliton Pandorfi**

Co-orientador: Dr. **Júlio César Vieira de Oliveira**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, como requisito para obtenção do título de Mestre.

RECIFE - PE

FEVEREIRO DE 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586D Silva, Rodes Angelo Batista da.
Detecção de mastite subclínica bovina utilizando a termografia por
infravermelho
/ Rodes Angelo Bastista da Silva. - Recife, 2019.
81 f.: il.

Orientador(a): Héilton Pandorfi.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Imagens térmicas 2. Termografia infravermelha 3. Visão computacional
I. Pandorfi, Héilton, orient. II. Título

CDD 664

DETECÇÃO DE MASTITE SUBCLÍNICA BOVINA UTILIZANDO A TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO

RODES ANGELO BATISTA DA SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 21 de fevereiro de 2019 pela banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Héilton Pandorfi

Departamento de Engenharia Agrícola - UFRPE

Examinadores:

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

Departamento de Engenharia Agrícola - UFRPE

Prof. Dr. Borko Stosic

Departamento de Estatística e Informática – UFRPE

Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Departamento de Engenharia Agrícola - UFCG

“Sob forte sol ou chuva a corrida não é sempre vencida pelo mais rápido, a batalha não é sempre ganha pelo mais forte, a riqueza não é sempre alcançada pelo mais inteligente, nem o reconhecimento é sempre conquistado pelo mais habilidoso. Porém o tempo e a oportunidade ocorrem a todos.”

Eclesiastes 9:11

À minha família por todo o apoio, amor e carinho,

Ao meu esposo Hecton,

DEDICO e OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me concedeu a vida, a quem agradeço especialmente pela sua companhia, proteção e tudo o que me dispensou em todos os momentos de realização deste estudo.

À minha querida família, meus pais, Ivanilda Angelo e Moisés Claudino, meu irmão André Claudino, por terem me ensinado desde cedo o valor da autodisciplina que nesta etapa da vida foi muito importante. Sou e serei eternamente grata por todo amor e tudo que sempre me dispensaram.

Ao meu esposo Hecton Batista pelo amor, carinho, cuidado, atenção, compreensão, dedicação, incentivo e por estarmos sempre juntos em todos os momentos da vida.

Ao orientador professor Dr. Héilton Pandorfi agradeço de coração pela ótima orientação, sempre muito amigável, com bastante seriedade e compromisso, objetividade, pela confiança, ensinamentos, pela disponibilidade que sempre manifestou e pelo acompanhamento exercido, fundamentais para realizar e prosseguir este estudo.

Ao professor Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida, pessoa estimável, destro profissional, agradeço por sua ajuda e disponibilidade, sem estas não seria possível a realização deste estudo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), por me acolher em toda a minha trajetória acadêmica, a quem reverencio, por ser fundamental à minha formação intelectual e profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade e pelos ensinamentos transmitidos com seriedade e compromisso pelos profissionais do mesmo.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE pela concessão da bolsa de estudo.

Aos estagiários Agnes e Adriel pela valiosa ajuda e contribuição na realização deste trabalho.

À Fazenda Roçadinho, por disponibilizar os animais utilizados neste estudo.

Aos amigos Marcos Vinícius, Hélio Lopes, Ronaldo Alves, Luiz Antônio e José Jairo do PGEA pelo companheirismo, amizade e valiosa contribuição durante o desenvolvimento deste estudo.

Aos amigos Henrique Zaidan, Fábio Jacques, Ademir Batista e Wendell, ambos do PPGBEA pelo companheirismo, amizade e ajuda.

Meu sincero agradecimento à todos os integrantes do Grupo de Pesquisa em Ambiência: Sávio Cavalcanti, Pedro Henrique, Nicolay Farias, Marcos Vinícius, Renan Silva e todos os estagiários por toda ajuda e momentos de descontração. O GPESA é uma família que só cresce.

Aos professores, pela disponibilidade para participação na banca examinadora.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	VIII
Lista de Figura	X
Lista de Tabelas	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. HIPÓTESES.....	17
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. Objetivo Geral.....	17
3.2. Objetivos Específicos.....	17
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
4.1. Bovinocultura de leite	17
4.2. Controle e sanidade do rebanho	19
4.2.1. Infecção da glândula mamária (mastite).....	20
4.2.2. Métodos de detecção de mastite subclínica	21
4.2.2.1 Contagem de células somáticas (CCS).....	21
4.2.2.2. <i>California Mastitis Test</i> (CMT)	22
4.2.2.3. Condutividade elétrica (CE) e Ph.....	23
4.2.2.4 Avaliação microbiológica	24
4.3. Influência dos fatores abióticos na saúde do rebanho	25
4.4. Zootecnia de precisão	25
4.4.1. Uso da termografia por infravermelho na produção animal.....	26
4.4.1.1. Termografia por infravermelho como ferramenta no diagnóstico veterinário ..	28
4.4.2. Geoestatística aplicada a produção animal	29
4.4.3. Análise de imagem computacional aplicada.....	29
5. REFERÊNCIAS.....	31
CAPÍTULO I	37
DEPENDÊNCIA ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO ÚBERE DE VACAS DE LEITE SAUDÁVEIS E COM MASTITE	38
RESUMO	38
ABSTRACT	38
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43

CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO II.....	52
INFERÊNCIA EXPLORATÓRIA DE DADOS NA OCORRÊNCIA DE MASTITE EM BOVINOS DE LEITE.....	53
RESUMO	53
ABSTRACT	53
INTRODUÇÃO.....	54
MATERIAL E MÉTODOS.....	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO III	66
CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS TÉRMICAS DA MASTITE BOVINA POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL	67
RESUMO	67
ABSTRACT	68
INTRODUÇÃO.....	68
MATERIAL E MÉTODOS.....	70
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

Lista de Figura

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Crescimento da produção de leite no Brasil de 1961 a 2015.	188
Figura 2. Representação esquemática da prevalência de mastite clínica e subclínica em um rebanho de bovinos leiteiros	21
Figura 3. Realização do California Mastitis Test (CMT) e reagente do CMT	233
Figura 4. Representação do espectro eletromagnético.....	277
Figura 5. Relação entre computação gráfica, processamento, análise digital de imagem e visão computacional	30

CAPÍTULO I

Figura 1. Imagens térmicas nos enquadramentos anterolateral esquerdo (A), anterolateral esquerdo (B), posterior (C), inferior (D).....	41
Figura 2. Malha de amostragem com as coordenadas X e Y com 102 pontos (A), referente a temperatura superficial da área selecionada (B) do quarto mamário.....	42
Figura 3. Mapas de krigagem para temperatura superficial referente aos quartos anterolateral esquerdo de um animal classificado com mastite subclínica (A), saudável (B) e com mastite clínica (C).....	49

CAPÍTULO II

Figura 1. Imagens térmicas nos enquadramentos anterolateral esquerdo (A), anterolateral direito (B), posterior (C), inferior (D).....	56
Figura 2. Componente principal 1 e 2 referentes as correlações entre as variáveis provenientes dos animais saudáveis, com mastite subclínica e clínica.....	61

CAPÍTULO III

Figura 1. Imagens térmicas dos quadros clínicos (saudável – linha I; mastite subclínica – linha II; mastite clínica – linha III) nos enquadramentos anterolateral esquerdo (coluna A), anterolateral direito (coluna B), posterior (Coluna C) e inferior (Coluna D).....71

Figura 2. Imagens térmicas segmentadas (I) e classificadas (II) dos animais saudáveis nos enquadramentos anterolateral direito (A), anterolateral esquerdo (B), posterior (C) e inferior (D).....76

Figura 3. Imagens térmicas segmentadas (I) e classificadas (II) dos animais com mastite subclínica nos enquadramentos anterolateral direito (A), anterolateral esquerdo (B), posterior (C) e inferior (D).....77

Figura 4. Imagens térmicas segmentadas (I) e classificadas (II) dos animais com mastite clínica nos enquadramentos anterolateral direito (A), anterolateral esquerdo (B), posterior (C) e inferior (D).....78

Lista de Tabelas

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Tipos de células no leite normal e com mastite.....	22
Tabela 2. Relação entre o escore do CMT e a CCS.....	23

CAPÍTULO I

Tabela 1. Estatística descritiva para temperatura superficial do úbere de vacas com mastite subclínica.....	43
Tabela 2. Análise descritiva para temperatura de superfície do úbere de vacas saudáveis.....	44
Tabela 3. Análise descritiva para temperatura de superfície do úbere de vacas classificadas com mastiteclínica.....	45
Tabela 4. Modelos e parâmetros dos semivariogramas da temperatura superficial do úbere de vacas com mastite subclínica.....	46
Tabela 5. Modelos e parâmetros dos semivariogramas da temperatura superficial do úbere de vacas saudáveis.....	47
Tabela 6. Modelos e parâmetros dos semivariogramas da temperatura superficial do úbere de vacas com mastite clínica.....	48

CAPÍTULO II

Tabela 1. Análise exploratória das variáveis estudadas: média, desvio padrão, e coeficiente de variação (CV).....	58
Tabela 2. Componentes principais 1 e 2, seus respectivos autovalores, porcentagem da variância, proporção acumulada (%) pelos componentes e Coeficientes dos dois componentes principais (autovetores).....	60
Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre as características avaliadas.....	63

SILVA, RODES ANGELO BATISTA da. **Deteccção de mastite subclínica bovina utilizando a termografia por infravermelho**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Recife-PE

Autora: Rodes Angelo Batista da Silva

Orientador: Prof. Dr. Héilton Pandorfi

RESUMO

Essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar a utilização da termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico para detecção de mastite subclínica em bovinos de leite. Além de caracterizar a variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere dos animais e desenvolver metodologia computacional para classificação de quadros de mastite, como ferramenta de suporte à tomada de decisão. O levantamento de dados foi realizado em uma unidade de produção de leite, Fazenda Roçadinho, localizada no município de Capoeiras, Mesorregião Agreste, Microrregião do Vale do Ipojuca, Estado de Pernambuco. A quantidade de amostras foi determinada de acordo com os critérios de seleção e totalizaram 24 animais, em condições clínicas distintas (saudáveis, com mastite clínica e subclínica). Foram registrados os dados fisiológicos temperatura de superfície do úbere (TS, °C); temperatura do globo ocular (TO, °C); temperatura retal (TR, °C); frequência respiratória (FR, mov. min⁻¹) e as variáveis do ambiente, temperatura do ar (Tar, °C) e umidade relativa do ar (UR, %). As imagens térmicas do úbere dos animais foram obtidas a partir de uma câmera termográfica, no enquadramento anterolateral esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior, quatro imagens por animal, totalizando 96 imagens para análise de seus respectivos quartos mamários. A termografia permitiu identificar diferença de temperatura da superfície dos quartos mamários. Os animais com classificação positiva para mastite subclínica apresentaram valores entre $33,2 \pm 0,67^{\circ}\text{C}$ e $34,64 \pm 1,07^{\circ}\text{C}$; para os quartos negativos, valores entre $29,3 \pm 1,78^{\circ}\text{C}$ e $32,24 \pm 0,62^{\circ}\text{C}$. Os indivíduos com mastite clínica apresentaram temperatura entre $34,0$ e $37,5^{\circ}\text{C}$. As análises geoestatísticas identificaram com sucesso a dependência espacial e a técnica de componentes principais permitiu verificar a correlação das variáveis TO, TR, FR, Tar e UR com o quadro clínico dos animais e o grau de dependência entre as variáveis estudadas. O *software*

desenvolvido mostrou-se eficiente em classificar imagens térmicas para a detecção de quadros clínicos de mastite, com acurácia de 90,9%, especificidade de 57,14% e sensibilidade de 85,71% do algoritmo implementado para as análises.

Palavras-chave: análise de imagem, bovinos de leite, visão computacional

SILVA, R.A.B. **Space dependence of the variation of the temperature of surface of udder of healthful cows of milk and with mastitis.** 2019. Dissertation (Master's degree in Agricultural Engineering) – Rural Federal University of Pernambuco, Postgraduate Program of Agricultural Engineering, Recife-PE.

ABSTRACT

This research was conducted with the objective of evaluating the use of infrared thermography as a diagnostic tool for detecting subclinical mastitis in dairy cattle. Besides characterizing the spatial variability of the surface temperature of the udder of the animals and developing computational methodology for classification of mastitis tables, as a tool to support decision making. Data collection was carried out in a milk production unit, Fazenda Roçadinho, located in the municipality of Capoeiras, Mesoregion Agreste, Microregion of Vale do Ipojuca, State of Pernambuco. The quantity of samples was determined according to the selection criteria and totalled 24 animals, under different clinical conditions (healthy, with clinical and subclinical mastitis). The physiological data of the udder surface temperature (TS, °C) Were recorded; Eyeball temperature (TO, °C); Rectal temperature (TR, °C); Respiratory rate (RR, mov. min⁻¹) and environment variables, air temperature (Tar, °C) and relative air humidity (RH, %). The thermal images of the udder of the animals were obtained from a thermographic camera, in the left anterolateral, anterolateral right, posterior and inferior, four images per animal, totaling 96 images for analysis of their respective Mamary rooms. Thermography allowed To Identify the temperature difference of the surface of the mamary rooms. The animals with positive classification for subclinical mastitis had values between 33.2 ± 0.67 °C and 34.64 ± 1.07 °C; For the negative rooms, values between 29.3 ± 1.78 °C and 32.24 ± 0.62 °C. The individuals with clinical mastitis had a temperature between 34.0 and 37.5 °C. The geostatistical analyses successfully identified the spatial dependence and the main component technique allowed to verify the correlation of the variables TO, TR, FR, Tar and RH with the clinical picture of the animals and the degree of dependence between the variables Studied. The software developed proved to be efficient in classifying thermal images for the detection of clinical conditions of mastitis, with accuracy of 90.9%, specificity of 57.14% and sensitivity of 85.71% of the algorithm implemented for the analyses.

Keywords: image analysis, dairy cattle, computational vision

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil ocupa a 5ª posição no ranking dos maiores produtores de leite do mundo, e até o terceiro trimestre do ano de 2018 o país produziu 17.753,327 bilhões de leite (IBGE, 2018; FAO, 2017). Grande parte da produção concentra-se nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná. A região Nordeste, por sua vez, apresenta participação de 5,6% da produção nacional e o estado de Pernambuco ocupa a 13ª colocação no ranking brasileiro tendo a região agreste como a principal produtora, contribuindo com 80% da produção de leite do estado (IBGE, 2018).

Contudo, a eficiência das unidades de produção é fortemente influenciada por fatores zootécnicos como manejo, alimentação, potencial genético dos rebanhos e fatores sanitários como a saúde da glândula mamária e do animal em geral.

Neste contexto, a mastite é a doença que mais ocasiona perdas no setor leiteiro e é a mais frequente em rebanhos destinados a produção de leite (Vlieghe et al. 2012; Paul e Ganguly, 2014; Pereira et al. 2014; Saab et al. 2014). Esta apresenta-se na forma clínica, quando os sinais de inflamação são evidentes (rubor, aumento da sensibilidade ao tato e presença de grumos no leite) e subclínica onde o processo inflamatório necessita de análise de campo como o *California Mastitis Test* (CMT) ou laboratorial como a contagem de células somáticas (CCS).

A aplicação de tecnologias associadas a pecuária de precisão pode auxiliar no gerenciamento da propriedade, mensurar os indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar animal, permitindo o controle da variabilidade animal e espacial, otimizando econômica, social e ambientalmente o desempenho da fazenda (STEENEVELD e HOGEEVEN, 2015).

Dentro deste contexto, a termografia por infravermelho tem assumido papel cada vez mais relevante na detecção da variação da temperatura de superfície do corpo dos animais, auxiliando no diagnóstico da origem da sua variação (CHACUR e PONCE, 2016). Trata-se, portanto, de uma metodologia alternativa devido ser uma tecnologia precisa, não invasiva, e que não causa estresse aos animais. Também menor custo, quando comparado a procedimentos clássicos de diagnóstico de mastite subclínica, como albumina de soro bovino ou de contagem de células somáticas.

A utilização de imagens térmicas e seu processamento por meio da visão computacional, inclui métodos de segmentação, extração de atributos ou características, reconhecimento de padrões e classificação (FORSYTH et al., 2012).

Diante da importância da bovinocultura de leite para o país, pesquisas de interesse zootécnico que utilizem ferramentas de auxílio a tomada de decisão tornam-se estratégicas para o diagnóstico e tratamento precoce da mastite subclínica.

2. HIPÓTESES

A utilização da câmera termográfica infravermelho é um método eficaz para avaliação e identificação de quadro infeccioso de mastite subclínica em bovinos de leite.

A classificação das imagens, por meio da visão computacional, permite diagnóstico precoce e direcionamento dos animais para tratamento.

A aquisição e interpretação das imagens, por meio de técnica e metodologia empregada, apresentam informações confiáveis e relevantes no auxílio ao diagnóstico.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar a utilização da termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico para detecção de mastite subclínica em bovinos de leite.

3.2. Objetivos Específicos

- estabelecer banco de dados de imagens de referência para detecção de mastite em sua fase clínica, subclínica e para animais livres de infecção;
- caracterizar a variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere de vacas de leite em lactação, com o emprego da técnica de geoestatística;
- desenvolver metodologia computacional capaz de receber imagens térmicas digitais, que permita sua classificação e auxilie no diagnóstico veterinário, como ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Bovinocultura de leite

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de leite em 2017, aumentando a sua produção a um ritmo de 31,67% no período de 2006 a 2017 (IBGE,2017). Esse ritmo de produção vem crescendo linearmente ao longo dos anos (Figura 1).

No Brasil, a pecuária leiteira é uma atividade bastante explorada entre os municípios brasileiros. De acordo com o censo agropecuário do IBGE (2017), o Estado de Minas Gerais continua liderando, com 29,5% da produção nacional, seguido pelo Estado do Rio Grande do Sul (13,3%) e Paraná (11,4%).

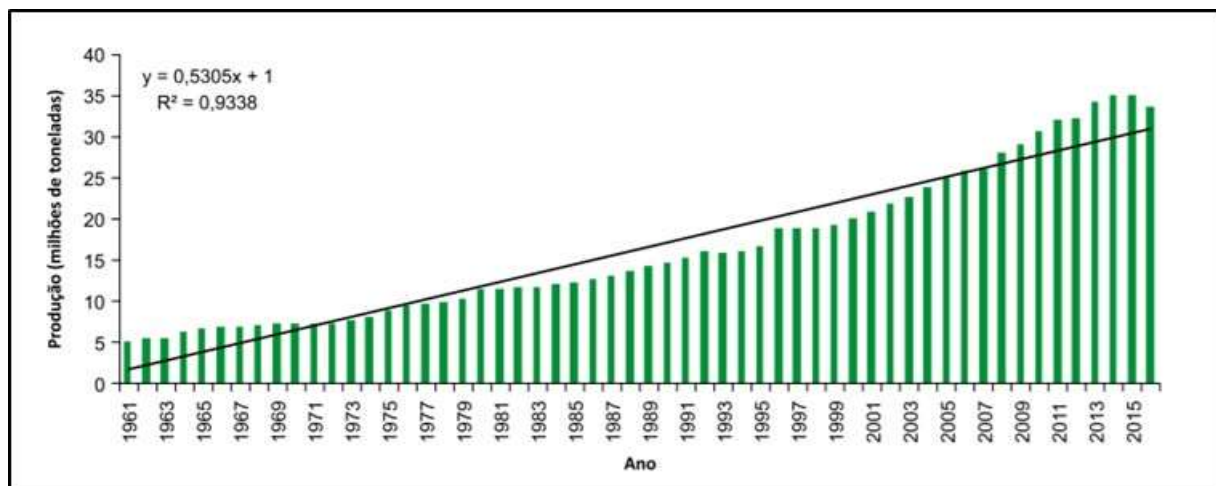


Figura 1. Crescimento da produção de leite no Brasil de 1961 a 2015. Fonte: FAO (2016) e IBGE (2016)

A produção de leite no Brasil foi se desenvolvendo concomitante ao processo de urbanização, em que num primeiro momento, o objetivo era atender ao mercado consumidor, com o passar dos anos a atividade adquiriu importância incontestável sob o ponto de vista econômico, gerando empregos permanentes (JÚNIOR et. al, 2015).

A Região Nordeste do Brasil ocupa uma área de aproximadamente 1,64 milhões de km², o que corresponde a aproximadamente 20% do território nacional. Essa região apresentou em 2017, rebanho efetivo de 2,1 milhões de bovinos e produziu 2.980.173 toneladas de litros de leite (IBGE, 2017).

O Estado de Pernambuco apresenta a agropecuária como uma importante forma de geração de renda para os produtores. Segundo o IBGE (2017), o estado tem o quarto maior efetivo de bovinos (1,3 milhões) e é o terceiro maior produtor de leite do Nordeste (470.090 toneladas), atrás apenas da Bahia (844.417 toneladas) e Ceará (574.857 toneladas) (IBGE, 2017).

A Mesorregião Agreste é conhecida como a bacia leiteira do estado de Pernambuco. Até o terceiro trimestre de 2018 o Estado produziu 60.601 mil litros de leite participando com 1% da produção nacional (IBGE, 2018).

4.2. Controle e sanidade do rebanho

Os sistemas de produção de leite em todo o mundo precisam combinar rentabilidade com a responsabilidade de proteger a saúde humana, animal e o meio ambiente. Segundo a FAO (2013) os produtores de leite, que são os agentes primários da cadeia de abastecimento, precisam adotar métodos que satisfaçam as demandas da indústria e consumidores, agregando valor ao seu produto.

Para manter as taxas de crescimento atuais deste setor e tornar o efetivo bovino apto a ser comercializado no Brasil e exterior, surge à necessidade de ações de ajuste de manejo na produção bovina. Desta forma, a pecuária se mantém e conquista novos mercados.

Segundo Acosta et al. (2016) a falta de conhecimento dos ordenhadores em relação à mastite, problemas com o saneamento ambiental e o manejo inadequado dos animais durante a ordenha são os principais fatores de risco identificados, que devem ser corrigidos para reduzir a incidência de casos da doença e otimizar a produção de leite no país.

As boas práticas na pecuária leiteira incluem saúde animal, higiene na ordenha, nutrição suficiente e de qualidade, bem-estar animal e condução dos processos de acordo com os desafios locais (FAO, 2013).

Dentre as práticas que podem assegurar a sanidade do rebanho e ganhos de produtividade destacam-se: instalações seguras que garantam higiene e conforto; alimentação adequada. A sala de ordenha precisa ser planejada de modo a oferecer conforto aos animais. Devem ser posicionadas para que não haja incidência de radiação solar direta sobre os animais durante a ordenha, sendo necessário um pé direito mínimo de três metros, ser próxima ao estábulo e aos piquetes, para que as vacas possam chegar rapidamente a sala de ordenha. É importante também, ter uma sequência de ordenha que priorize as novilhas na primeira linha de entrada e segregue as vacas com maior incidência de mastite e com alta mastite clínica e subclínica (ARCANJO et. al, 2017).

Desse modo, as vacas com mastite clínica e as cronicamente infectadas com *S. aureus*, deverão ser ordenhadas separadamente e seu leite descartado ou fornecido aos bezerros. Segundo Pires Neto et. al (2012) antes da ordenha das vacas, deve-se observar se os tetos apresentam muita sujeira. Se estiverem muito sujos (barro esterco, etc) deverão ser lavados com água corrente e secos com papel toalha, porém, jamais deverá jogar água sobre o úbere, pois há o risco de conduzir a água suja para o esfíncter, o que aumentará a possibilidade de instalação da infecção

Quando a mastite clínica é detectada pelo teste da caneca de fundo preto, o animal deverá ser segregado e ordenhado por último. O tratamento deve ser imediato visando maior chance de cura. O teto infectado deverá ser desinfetado com um algodão molhado com álcool passado na região do esfíncter do teto contaminado. Assim, será introduzido o antibiótico intra-mamário e por fim, realiza-se o pós-dipping (PIRES NETO et al., 2012).

Com relação à higiene na ordenha, os equipamentos devem ser adequados e mantidos em boas condições. Também é necessário garantir que essa rotina não lesione os animais e introduza contaminantes no leite, de forma que garanta que o leite possa ser manipulado adequadamente após a ordenha (FAO, 2013).

4.2.1. Infecção da glândula mamária (mastite)

A mastite ou mamite bovina é um processo inflamatório da glândula mamária decorrente de infecção bacteriana e, basicamente, pode apresentar-se de duas formas: clínica e subclínica (VLIEGHER et al, 2012). De múltipla etiologia, sua ocorrência está relacionada ao manejo sanitário e ordenha dos animais. A mastite representa um entrave para a pecuária leiteira, causando prejuízos econômicos, diminuindo a qualidade do leite, elevando custos com tratamentos e problemas de saúde pública (LANGONI et. al, 2017).

O processo inflamatório da mastite inicia com a introdução do microrganismo no canal do teto e o seu curso clínico dependerá da colonização e multiplicação no úbere. A multiplicação dos microrganismos e a produção de toxinas danificam o tecido secretor glandular, causando traumatismo físico e irritação química (KULKARNI e KALIWAL, 2013).

A forma clínica é diagnosticada pelo quadro inflamatório mais acentuado, como edema, aumento de temperatura, endurecimento e dor na glândula mamária, aparecimento de grumos, pus ou alterações nas características no leite. Para sua detecção realiza-se exame criterioso da glândula mamária e o teste da caneca de fundo preto. Na forma subclínica, não ocorrem mudanças visíveis no aspecto do leite ou do úbere, mas sim, uma infecção assintomática onde ocorrem principalmente mudanças na composição do leite, detectada pelo *California Mastitis test* (CMT) (SÁ et.al, 2018).

A mastite representa risco a saúde pública, devido à veiculação de patógenos, suas toxinas e presença de resíduos de antibióticos no leite (COSTA et al., 2013). Pode ocorrer por intermédio de mais de 137 microrganismos, que são classificados como patógenos contagiosos ou ambientais. Em um rebanho, estima-se que para cada caso de mastite clínica devem existir entre 15 e 40 casos de mastite subclínica (Figura 2).

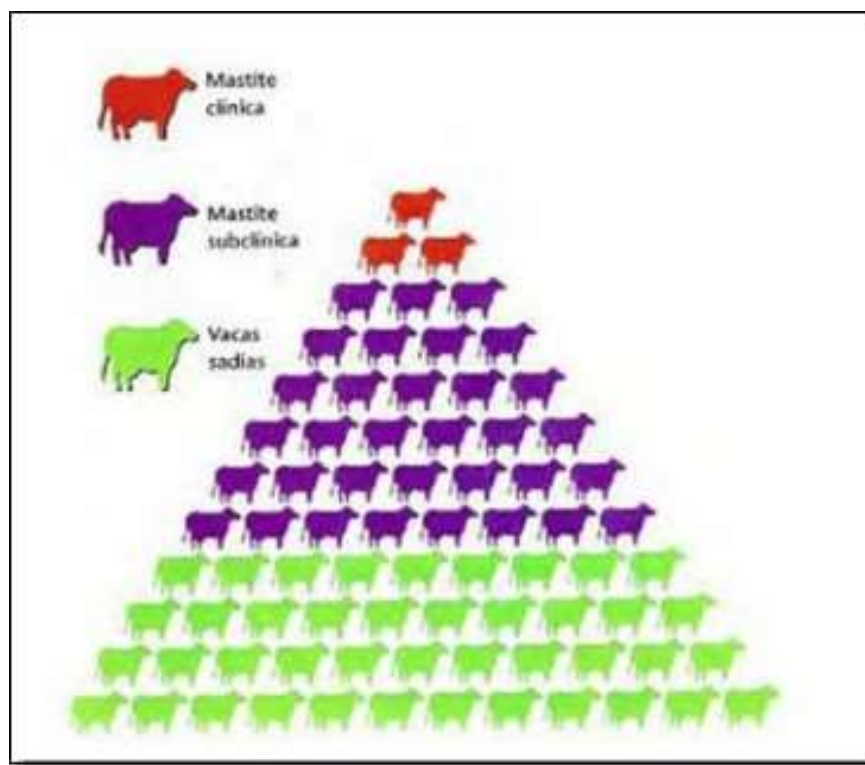


Figura 2. Representação esquemática da prevalência de mastite clínica e subclínica em um rebanho de bovinos leiteiros. Fonte: SANTOS e FONSECA (2007)

4.2.2. Métodos de detecção de mastite subclínica

A mastite, na fase subclínica da infecção não manifesta sinais clínicos, exigindo alguns métodos diagnósticos para sua detecção, como a contagem de células somáticas (CCS), *California Mastitis Test* (CMT), condutividade elétrica (CE) e exame microbiológico do leite.

4.2.2.1 Contagem de células somáticas (CCS)

Segundo Vargas et al. (2014) as células somáticas compreendem diferentes elementos celulares, normalmente presentes no leite, (leucócitos, neutrófilos e células de descamação do epitélio secretor da glândula mamária). A infecção da glândula mamária é a causa de maior interferência na sua contagem, pois, as células de defesa migram do sangue para o local de infecção, tendo por objetivo combater o agente infeccioso, aumentando desta forma sua contagem (Tabela 1).

Tabela 1: Tipos de células no leite normal e com mastite

Tipo	Leite normal (%)	Leite com mastite (%)
Macrófagos	45-90	10-35
Neutrófilos	3-25	50-90
Linfócitos	7-35	1-20
Células epiteliais	0-2	0-2

Fonte: Monardes (1994).

A contagem de células somáticas geralmente é realizada indiretamente, avaliando-se a viscosidade do leite após adição de um reagente específico, ou diretamente, contando-se as células através do microscopia direta ou por meio de equipamentos eletrônicos (Richter et al., 2013).

A análise pelo método de microscopia direta fornece informações essenciais sobre a condição da matéria-prima, mas é um procedimento que requer trabalho intenso. Métodos clássicos de análises como este é referência na determinação do parâmetro exigido, mas necessitam de mão de obra excessiva que, devido ao seu custo cada vez maior, impede sua aplicação prática. Portanto, a CCS pode ser realizada por equipamentos eletrônicos, a exemplo do Somacount® (Bentley Instruments Incorporated®) e Fossomatic® (Foss Eletric®, Hillerød, Dinamarca). Este equipamento baseia-se no princípio da citometria de fluxo (REIS e LOPES, 2014).

Com relação aos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa 31 de 2019, os valores máximos admitidos para a CCS são de $4,0 \times 10^5$ CS/ml (BRASIL, 2018).

4.2.2.2. *California Mastitis Test (CMT)*

Segundo Tesfaye (2018) o *California Mastitis Test (CMT)* é um teste rápido e simples que prevê com precisão a contagem de células somáticas do leite de quartos individuais ou em amostras de leite. Constitue-se de um teste simples, barato e rápido que visa a detecção de mastite sendo baseado na quantidade de proteína nuclear celular presente na amostra de leite. O teste identifica com bastante precisão e é um indicador confiável da gravidade da infecção (Figura 3).



Figura 3. Realização do California Mastitis Test (CMT) e reagente do CMT. Fonte: Autor

A interpretação do CMT se baseia na observação visual do leite após ser misturado ao reagente. A reação se processa entre o reagente e o material genético das células somáticas presentes no leite, formando um gel, cuja concentração é proporcional ao número de células somáticas. O resultado do CMT é dado como negativo, suspeito, fracamente positivo, positivo e fortemente positivo (SCHALM e NOORLANDER, 1957). Os escores do CMT apresentam correlações variadas com a CCS (PHILPOT e NICKERSON, 1991) (Tabela 2).

Tabela 2: Relação entre o escore do *California Mastitis Test* (CMT) e a Contagem de Células Somáticas.

Escore	Viscosidade	Contagem de Células Somáticas
0	Ausente	100.000
Traços	Leve	300.000
(1) +	Leve/moderada	900.000
(2) ++	Moderada	2.700.000
(3) +++	Intensa	8.100.000

Fonte: Philpot & Nickerson 1991

4.2.2.3. Condutividade elétrica (CE) e Ph

A principal característica correlacionada com a mastite é a contagem de células somáticas (CCS), mas existem outras características também correlacionadas à ocorrência da mastite, entre elas o aumento da concentração de íons que é responsável pelo aumento da condutividade elétrica do leite. A CE é obtida de maneira fácil, rápida e com baixo custo, se tornando uma importante ferramenta no controle da mastite, principalmente comparando-se com o método da contagem de células somáticas, onde se faz necessário o envio de amostras a um laboratório (FILHO, ZADRA e BOAS, 2013).

Com a infecção intramamária, a permeabilidade dos vasos sanguíneos é alterada, isso permite que íons, principalmente de cloretos, atravessem e se depositem no leite, fazendo com que ocorra a elevação do pH. Quando os valores estão próximos de 7 (sete) há um indicativo de mastite subclínica (CALLEFE e LANGONI, 2015).

As determinações da condutividade elétrica (CE) no leite têm sido utilizadas como uma ferramenta para identificar animais que apresentam mastite subclínica e início de mastite clínica, oferecendo resultados rápidos que contribuem para melhoria da segurança e qualidade do leite (DIAZ et al., 2012).

As vacas com mastite subclínica constituem um reservatório de bactérias ou outros microrganismos que são importantes fontes de infecção em potencial. Jacobs e Siegford (2012) observaram uma leve mudança na CE no leite com níveis de contagem de células somáticas (CCS) variando entre 200.000 a 300.000 células/mL. Portanto, algumas pesquisas mostram que a CE tem apresentado correlação positiva entre a quantidade de CCS e ao teste CMT (FOSGATE, PETZER e KARSIS, 2013).

Segundo Gáspardy et al. (2012), fatores como a variação entre vacas, rebanhos e raças, nas diferentes fases de lactação, intervalo de ordenha, teor de gordura no leite, alimentação, temperatura do leite, duração da ordenha, fração láctea coletada, patogenicidade do agente e depósitos de gordura, minerais e sujidades nos eletrodos dos sensores interferem nos valores da CE. Ainda segundo os autores, o valor de CE aumenta com o número de lactações.

4.2.2.4 Avaliação microbiológica

As análises microbiológicas do leite são importantes, pois revelam se há riscos aos consumidores e detectam se o produto foi obtido ou não, sob condições adequadas de higiene e se o mesmo está ou não fora dos parâmetros estipulados pelos órgãos de inspeção sanitária (ROCHA et al., 2015).

Segundo Santana et al. (2016) que estudaram a qualidade microbiológica do leite de vacas com mastite subclínica, por meio do teste de contagem de coliformes totais e fecais. Os resultados do CPP estavam abaixo do recomendado (1×10^4 UFC/mL) pela instrução normativa 62 de 2011. Para coliformes totais a condutividade elétrica de todas as amostras deram acima do que rege a norma.

Brito et al. (2014) pesquisaram a prevalência e a etiologia da mastite em bovinos da bacia leiteira da Ilha de São Luís, MA, por meio de análises microbiológicas de isolamento e identificação por meio de cultura de amostras. Esse estudo revelou elevada frequência de mastite bovina nos rebanhos leiteiros estudados, principalmente da forma

subclínica. Os agentes contagiosos tiveram maior participação na etiologia da mastite, com predominância do *Staphylococcus coagulase* negativo. Da mesma forma Jardim et al. (2014) após o isolamento de microorganismos detectaram alta frequência de quartos mamários com mastite clínica e subclínica e o agente etiológico mais frequentemente isolado foi *Staphylococcus coagulase* negativa.

Bozo et al. (2013) estudaram a adequação da qualidade do leite de cinco propriedades leiteiras aos parâmetros estabelecidos pela legislação estadual do Paraná, por meio da contagem bacteriana total (CBT). Os autores observaram que o estabelecimento de boas práticas de ordenha, manutenção e higienização dos equipamentos e o monitoramento da sanidade da glândula mamária permitiram a redução na CBT.

4.3. Influência dos fatores abióticos na saúde do rebanho

O estresse térmico é um problema típico encontrado no manejo de vacas leiteiras nos países de clima tropical e subtropical. Ele causa reduções na produção e mudanças na composição do leite, redução na ingestão de alimentos e aumento na ingestão de água. Segundo Cattelan e Vale (2013) a perda de produção de leite devido ao aumento de temperatura depende de fatores como a umidade relativa do ar, velocidade do vento, nutrição e outros fatores relacionados ao manejo.

4.4. Zootecnia de precisão

A zootecnia de precisão consiste no uso de tecnologias da informação, modelagem, sensores, atuadores e registros automatizados de dados passíveis de interpretação, que podem favorecer e auxiliar no atendimento das atuais demandas do sistema de produção e do mercado (PANDORFI, ALMEIDA e GUISELINI, 2012). Trata-se, portanto, de uma decisão gerencial, amparada em tecnologias e comunicação, que permitem otimizar economicamente, socialmente e ambientalmente o desempenho da fazenda leiteira. Está baseada na coleta de dados de forma automatizada que permite estimar os indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar animal (PEREIRA e COELHO, 2015; STEENEVELD e HOGEEVEN, 2015).

Alguns estudos sobre tecnologias de precisão para pecuária de leite, realizados até o momento, estão relacionados à detecção de mastite, fertilidade, problemas de locomoção e distúrbios metabólicos (RUTTEN et al., 2013). Dentre os parâmetros monitorados estão a produção, composição, temperatura, condutividade, presença de sangue e contagem de células somáticas do leite dentre outros (CHIZZOTTI et.al, 2015).

Os sistemas de precisão utilizados na pecuária leiteira são compostos por equipamentos capazes de estimar parâmetros fisiológicos e comportamentais e são capazes de detectar alterações das condições de saúde e posterior intervenção do responsável pelo rebanho (STEENEVELD e HOGEEVEN, 2015).

4.4.1. Uso da termografia por infravermelho na produção animal

A termografia de infravermelho (TIV) pode ser definida como uma técnica de mapeamento térmico de um corpo, a partir da radiação infravermelha normalmente emitida pela superfície alvo (ROBERTO e SOUZA, 2014). Os meios de diagnósticos atuais constituem-se de técnicas cada vez mais avançadas, elaboradas e seguras que permitem aos profissionais realizarem uma abordagem clínica cada vez melhor (LAHIRI, BAGAVATHIAPPAN e JAYAKUMAR, 2012).

Segundo Gade e Moeslund (2014) as vantagens da termografia são: 1 – não há necessidade do contato físico entre a câmera termográfica com o local a ser examinado, além de ser um exame não invasivo; 2 - fornece imagens bidimensionais, permitindo a comparação de temperatura entre áreas distintas; 3 – possibilita a digitalização de imagens em tempo real das fontes de calor e de imagens de corpos em movimento; 4 – não produz efeitos colaterais nos corpos examinados, portanto pode ser indicada para uso contínuo e repetido.

A técnica de termografia infravermelha surgiu a partir de estudos feitos pelo médico e filósofo grego Hipócrates no qual desenvolveu a teoria de detecção de algum sinal de enfermidades baseando-se nas variações da temperatura corporal do paciente (LAHIRI, BAGAVATHIAPPAN e JAYAKUMAR, 2012).

A partir dessa teoria, a ciência evoluiu e o cientista William Hershell, no ano de 1800, descobriu a mensuração da temperatura em cada cor do arco-íris, compreendendo, assim, o espectro de cores. William Hershell descobriu o que hoje chamamos de infravermelho. Infravermelho, que significa “abaixo do visível”, descreve uma extensão específica do espectro eletromagnético, uma escala usada para classificar várias formas de emissão de energia (Figura 4).

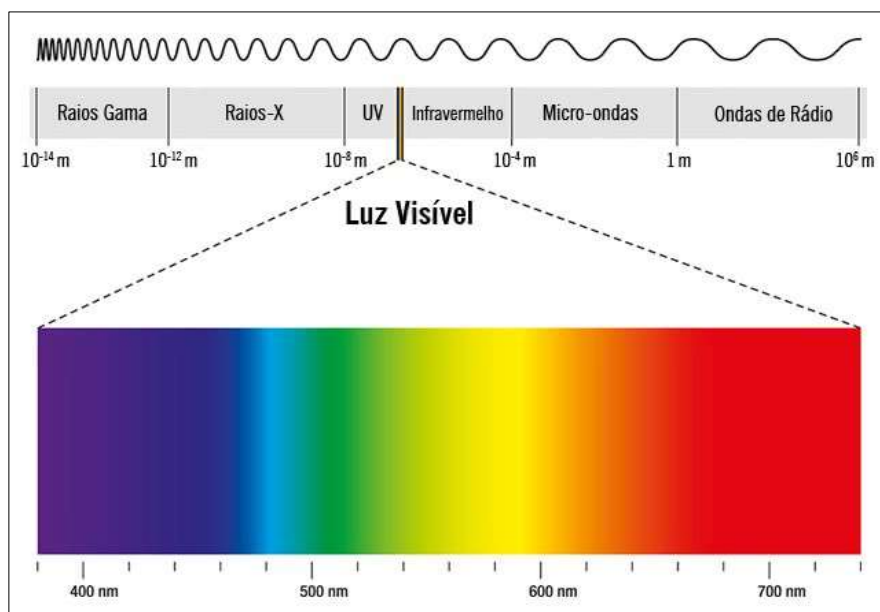


Figura 4. Espectro eletromagnético. Fonte: www.todamateria.com.br

Em 1840, John Herschel um dos pioneiros no campo da fotografia, realizou as primeiras imagens utilizando o sistema infravermelho, por meio da técnica evaporográfica. Diferentes abordagens, com relação a essa descoberta, ainda foram realizadas em meados de 1850, por inúmeros estudiosos. Cada técnica produziu termogramas com discriminação insuficiente de temperatura para o uso que se destinavam (RING, 2000).

Os termovisores são instrumentos de captação de radiação infravermelha que detectam pequenas oscilações térmicas por apresentarem grande sensibilidade e alta resolução (FIGUEIREDO et al., 2013). Após captar a radiação são gerados os termogramas que são mapas térmicos de imagens com diferentes distribuições de temperatura (RING, 2000). Os termogramas permitem a distinção da distribuição do calor emitido pelo elemento analisado, estabelecendo medidas precisas de temperatura e a identificação das curvas isotérmicas (FIGUEIREDO et al., 2013). Estes valores são visualizados em uma imagem que pode ser multicolorida ou monocromática, em tons de cinza, dependendo da escala de cores selecionada (LAHIRI, BAGAVATHIAPPAN e JAYAKUMAR, 2012).

A termografia é empregada desde 1970, tanto em humanos quanto em animais. Inicialmente só era utilizada na detecção de lesões inflamatórias em equinos de corrida. Nos últimos anos, devido ao avanço da tecnologia dos termovisores e consequentemente redução dos custos dos equipamentos, o seu uso encontra-se em expansão na medicina veterinária (ROBERTO e SOUZA, 2014).

Ao realizar o procedimento de coleta das imagens deve-se atentar ao posicionamento do equipamento, padronizando a distância, pois poderá ocorrer a perda da resolução da mesma, reduzindo precisão e acurácia da oscilação da temperatura em estudos com a imagem pixel a pixel (DE LIMA et al., 2013).

Outra aplicação da ferramenta na produção animal é na caracterização térmica das instalações e seu efeito no conforto dos animais, orientando o manejo mais adequado para o aumento da produtividade e a rentabilidade da unidade de produção (ALMEIDA et.al, 2013).

É importante salientar que há alguns fatores que podem influenciar o resultado de exames utilizando a termografia, como exposição à radiação solar e sujidades. Umedecimento, espessura da pele e a densidade da pelagem também devem ser consideradas. Um diagnóstico negativo poderá ser falso negativo (RING, 2000; ROBERTO e SOUZA, 2014). Contudo, o exame se enquadra nos métodos que promovem o bem-estar animal e nos procedimentos caracterizados como não invasivos e que reduz o estresse provocado no animal.

4.4.1.1. Termografia por infravermelho como ferramenta no diagnóstico veterinário

Segundo Perez de Diego et al. (2013) em estudo realizado com ovelhas, que foram infectadas com o vírus da febre catarral maligna, a termografia mostrou-se como um método de diagnóstico complementar eficiente para a avaliação desta enfermidade nos animais infectados. Para Graciano et al. (2013) uma das afecções mais prevalentes nos sistemas intensivos de produção de suínos são as artrites. Essa enfermidade afeta consideravelmente o desempenho desses animais e o bem-estar. E por meio de imagens termográficas foi possível a identificação desses processos inflamatórios.

Portanto, a termografia por infravermelho pode de ser utilizada como um método de prevenção de doenças, identificando a elevação da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos (GLOSTER et al., 2011; REDAELLI et al., 2013).

Dentre alguns estudos que avaliaram a variação de temperatura do úbere de vacas em lactação, pode-se destacar Digiovani et al. (2016) que estudaram imagens térmicas como ferramenta de diagnóstico para detecção de mastite subclínica e, encontraram diferenças entre a temperatura do úbere saudável e com mastite subclínica. Polat et al. (2010) estudaram o emprego da termografia por infravermelho com o objetivo de identificar quadros de mastite subclínica, comparando-a com a contagem de células somáticas e o CMT e, observaram correlação positiva entre os métodos. Pezeshki et al.

(2011) estudaram a variação da dinâmica inflamatória por *Escherichia Coli* utilizando a termografia por infravermelho e verificaram que a técnica foi capaz de detectar mudanças de temperatura na superfície da pele do úbere. Gloster et al. (2011) e Redaelli et al. (2013) propuseram a análise de imagens térmicas como um método de prevenção de doenças, identificando a elevação da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, atuando como um sinal de alerta para a observação do animal.

4.4.2. Geoestatística aplicada a produção animal

O surgimento e desenvolvimento de ferramentas estatísticas que caracterizem a estrutura da variabilidade espacial de determinado fenômeno, implicou no surgimento da teoria das variáveis regionalizadas. Essa teoria tem como objetivo caracterizar a variabilidade espacial de determinada variável, a partir de um conjunto discreto de observações (MATHERON, 1963).

A geoestatística surgiu na década de 50, quando foram realizadas as primeiras pesquisas envolvendo cálculo de reservas minerais na África do Sul por Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel para dados de mineração do ouro, concluindo depois que a variância nos dados possuía uma estrutura que dependia da amostragem e que as variâncias obtidas não faziam sentido se não considerasse a distância entre as amostras.

A utilização da geoestatística na produção animal tem se mostrado eficaz tanto para análise do comportamento animal quanto para avaliações relacionadas ao ambiente de produção. Segundo Silva et. al (2012) a utilização da geoestatística possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades espaciais para a temperatura do ar, identificando áreas específicas da sala de pré-ordenha onde a temperatura estava acima do recomendado para o conforto térmico do animal. Para Medeiros (2014) a análise geoestatística de variáveis como a temperatura do ar e as concentrações de gases, torna-se necessário para se controlar melhor o ambiente onde os animais são criados.

O emprego da geoestatística para estudo da variabilidade espacial de atributos de interesse zootécnico tem sido utilizado na caracterização do conforto térmico animal (Silva et al.; 2012), concentração de gases (Medeiros et al., 2014), ruído (Oliveira et al., 2016) e para diagnóstico de doenças em humanos (Resmini et al., 2012).

4.4.3. Análise de imagem computacional aplicada

A visão computacional estuda e descreve sistemas de visão artificial implementados por *hardware* ou *software*, no qual permite reconhecer, manipular e pensar sobre os

objetos que compõem uma imagem. Ela pode ser dividida em dois níveis de abstração, processamento digital de imagens (PDI) e análise de imagens (Figura 5).

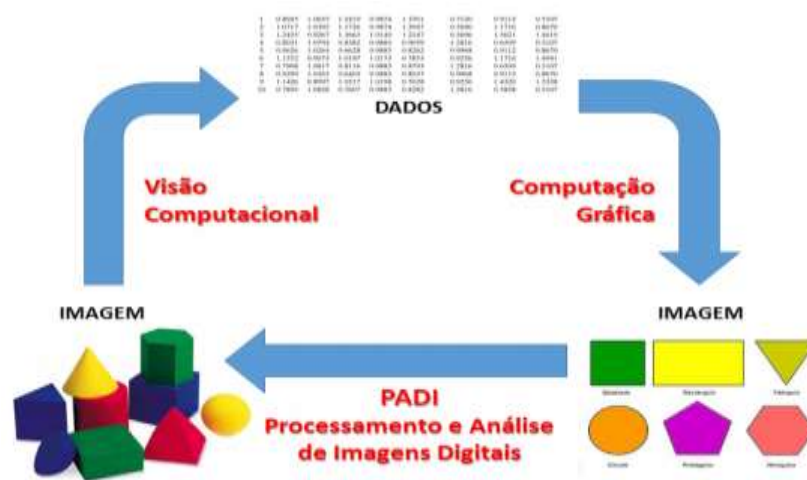


Figura 5. Relação entre computação gráfica, processamento, análise digital de imagem e visão computacional.

O pré-processamento é a etapa mais importante da visão computacional, pois refere-se ao processamento inicial dos dados brutos, correção de distorções geométricas e remoção de ruído. Sua função é melhorar a imagem de forma a aumentar as chances para o sucesso dos processos seguintes (GOMES e LETA, 2012).

Diversos pesquisadores têm-se utilizado da técnica de visão computacional na ambiência. Mortensen, Lisowski e Arendt (2016) desenvolveram e avaliaram um sistema totalmente automático de pesagem, em câmara 3D de baixo custo (Kinect), para frangos de corte em ambiente de produção comercial. O processamento de imagem extraiu doze diferentes descritores de peso e, finalmente, previu os pesos de frangos individuais usando uma Rede Neural Artificial Bayesiana.

Gracioso et al. (2013) desenvolveu um sistema computacional para auxílio ao diagnóstico em exames de tuberculose animal utilizando imagens de tecidos animais diagnosticados com tuberculose, classificação Neuro-Fuzzy, com base nas características de textura extraídas das imagens usando a transformada wavelet.

Acharya et al. (2012) apresentaram um estudo com cinquenta termogramas de mama, sendo 50% normal e 50% com câncer. Os autores extraíram das imagens um grupo de dezesseis características. O classificador utilizado foi máquinas de vetores de suporte (SVM). Os resultados relatados pelos autores foram 85,7% de sensibilidade, 90,5% de especificidade e 88,1% de acurácia.

Resmini (2012) testaram três classificadores, support-vector machines (SVM), k-nearest neighbors algorithm (k-NN) e Naïve Bayes e duas técnicas de redução de características: PCA e Ganho de Informação. Os resultados se mostraram bastante promissores com uma acurácia próxima de 90% e área abaixo da curva Receiver Operating Characteristic Curve (ROC) próxima de 0,9.

Resmini et al. (2016) buscaram através de técnicas de mineração de dados, classificar imagens térmicas. Para a extração das características utilizou-se abordagens estatísticas, geométricas, de frequência e fractais. Para classificação, utilizou-se técnica SVM e obtiveram acurácia acima de 90%.

Borchardt et al. (2013) desenvolveu metodologia para identificação e classificação de imagens térmicas utilizando o classificador SVM e otimizou por algoritmos genéticos. Ao validar os algoritmos, obtiveram acurácia, especificidade, e sensibilidade na classificação de suas imagens de 79, 92 e 88%, respectivamente.

Júnior et al. (2013) propuseram metodologia para identificar regiões suspeitas de lesão a partir de termogramas utilizando spatiogram e rede neural artificial, com algoritmo de aprendizagem do tipo perceptron em multicamadas. A metodologia apresentou 75% das regiões classificadas corretamente.

5. REFERÊNCIAS

- ACHARYA, U. R.; NG, E. Y. K.; TAN, J.-H.; SREE, S. V. Thermography based breast cancer detection using texture features and support vector machine. *Journal of Medical Systems*, v.36, p.1503–1510, 2012.
- ACOSTA. A. C.; SILVA, L.B.G.; MEDEIROS, E.S.M.; PINHEIRO-JÚNIOR, J.W.; MOTA, R.A. Mastites em ruminantes no Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol.36, n.7, p.565-573, 2016. .
- ALMEIDA, G.L.P.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S.B.P.; PEREIRA, D.F.; GUSELINI, C.; ALMEIDA, G.A.P. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês -GIR com climatização no curral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.8, p.892–899, 2013.
- ARCANJO, A.H.M.; OLIVEIRA, P.C.S.; MOREIRA, L.C.; JAYME, C.G.; SOARES, N.A.; OLIVEIRA, A.R.; PEREIRA, K.A.; PEREIRA, A.; NOGUEIRA, M.A.R. Programa dos seis pontos de controle da mastite em rebanhos leiteiros. *Global Science and Technology*, v.10, n.01, p.78 – 88, 2017.
- BORCHARTT, T. B.; CONCI, A.; LIMA, R.C.F.; RESMINI, R.; SANCHEZ, A. Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey. *Signal Processing*, Elsevier, v. 93, n. 10, p. 2785 – 2803, 2013.
- BOZO, G.A.; ALEGRO, L.C.A; SILVA, L.C.; SANTANA, E.H.W.; OKANO, W.; SILVA, L.C.C. Adequação da contagem de células somáticas e da contagem bacteriana total em leite cru refrigerado aos parâmetros da legislação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.*, v.65, n.2, p.589-594, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Mapa. Instrução Normativa Mapa nº 31, de 29 de junho de 2018.

BRITO, D.A.P.; OLIVEIRA, I.S.S.O.; BRITO, D.R.B.; COSTA, F.N. Prevalência e etiologia da mastite em bovinos leiteiros da Ilha de São Luís, estado do Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v.36, n.4, p.389-395, 2014.

CALLEFE, J. L. R.; LANGONI, H. Qualidade do leite: uma meta a ser atingida. *Revista Veterinária e Zootecnia*, v. 2, n. 22, p.151-162, 2015.

CATTELAN, J.; VALE, M.M. Estresse térmico em bovinos. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, v.108, n.587-588, p.96-102, 2013.

CHACUR, M.G.M.; SOUZA, C.D.; ANDRADE, I.B.; BASTOS, G.P.; DEAK, F.L.G.; SOUZA, M.G.Z.; CORNACINI, G.F.; JUNIOR, A. P. M. Aplicações da termografia por infravermelho na reprodução animal e bem estar em animais domésticos e silvestres. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v.40, n.3, p.88-44, 2016.

CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E. E. L.; PEREIRA, L. G. R.; CAMPOS, M. M.; TOMICH, T. R.; COELHO, S. G.; RIBAS, M. N. Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.98, p.3438-3442, 2015.

COSTA, G. M.; BARROS, R.A.; CUSTÓDIO, D. A.C. et al. Resistência a antimicrobianos em *Staphylococcus aureus* isolados de mastite em bovinos leiteiros de Minas Gerais, Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v.80, n.3, p.297-302, 2013.

DE LIMA, V.; PILES, M; RAFEL, O; LÓPEZ-BÉJAR, M; RAMÓN, J; VELARDE, DIAZ, J.R. et al. Effect of intramammary infection on milk electrical conductivity in Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 2, p.718-726, 2012.

DÍAZ, J. R.; ROMERO, G.; MUELAS, R.; ALEJANDRO, M.; PERIS, C. Effect of intramammary infection on milk electrical conductivity in Murciano Granadina goats. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 2, p. 718-726, 2012.

DIGIOVANI, D.B.; BORGES, M.H.F.; GALDIOLI, V.H.G.; MATIAS, B.F.; BERNARDO, G.M.; SILVA, T.R.; FÁVARO, P.C.; JÚNIOR, F.A.B.; LOPES, F.G.; JÚNIOR, C.K.; RIBEIRO, E.L.A.; Infrared thermography as diagnostic tool for bovine subclinical mastitis detection. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade animal*, v.10, n.4, p.685-692, 2016.

FAO e IDF. Guia de boas práticas na pecuária de leite. *Produção e Saúde Animal*. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-ba0027o.pdf> > Acesso em 25/06/2017.

FAO. Faostat: statistics division, trade, download data, crops and livestock products. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QL/E> Acesso em 27/12/2018

FAO. Milk and Milk Products: Price and Trade Update. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i8326e.pdf> Acesso em: 31/01/2019.

FIGUEIREDO, T; DZYEKANSHI, B; KUNZ, J; SILVEIRA, AB; RAMOS, C.M.G; FILHO, A.E.V.; ZADRA, L .F.; BOAS, D.F.V. Estudo da condutividade elétrica como característica indicadora de mastite em rebanhos leiteiros. *Revista Pesquisa & Tecnologia*, vol. 10, n. 1, 2013.

FILHO, A.E.V.; ZADRA, L.F.; BOAS, D.F.V. Estudo da condutividade elétrica como característica indicadora de mastite em rebanhos leiteiros. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 10, n. 1, 2013.

FORSYTH, D. A.; PONCE, J. *Computer Vision: A Modern Approach*. 2. ed. Prentice Hall, 2012.

FOSGATE, G.T.; PETZER, I.M.; KARSIS, J. Sensitivity and specificity of a hand-held milk electrical conductivity meter compared to the California mastitis test for mastitis in dairy cattle. *The Veterinary Journal*, v. 196, n. 1, p.98-102, 2013.

GADE R, MOESLUNB, TB. Thermal cameras and applications: A survey. *Machine Vision and Application*, v.25, p.245-262, 2014.

GÁSPÁRDY, A.; ISMACH, A.C.; BAJCSY, A.C.; VERESS, G.; MÁRKUS,S.; KOMLÓSI, I. Evaluation of the on-line electrical conductivity of milk in mastitic dairy cows. *Acta Veterinaria Hungarica*, v. 60, p. 145-155, 2012.

GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.;BASHIRUDDIN, J.; PATON, D.J. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Veterinary Research*, v.7, p.1746-6148, 2011.

GOMES, J. F. S.; LETA, F. R. Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review. *European Food Research and Technology*, Springer, v. 235, n. 6, p. 989–1000, 2012.

GRACIANO, D. E., NÄÄS, A.I, GARCIA, G.R, CALDARA, R.F. Identificação de artrite

GRACIOSO, A.C.N.R.; SOUZA FILHO, R.A.M.; GONZAGA, A.; FERNANDEZ, F.J.R. Sistema computacional para auxílio ao diagnóstico em exames de tuberculose animal. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.65, n.2, 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: Estatística da produção pecuária. Disponível em: <
ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201803caderno.pdf> Acesso em 31/01/2018.

JACOBS, J. A.; SIEGFORD, J. M. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behaviour, health and welfare. *Journal of Dairy Science*, v. 95,p.2227-2247, 2012.

JARDIM, J.G.; DEMICIS, B.B.; PEIXOTO, E.C.T.M.; HEINZEIN, E.L.; DOMINGUES, P.F. Perfil etiológico da mastite bovina na bacia leiteira do oeste paranaense, Brasil. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v.36, n.1, p.65-70, 2014.

TANCREDI JÚNIOR, F.A.; FERRO, R.A.C.; JÚNIOR, A.F.L.; FERRO, D.A.C.; SERENO, J.R.B.; SILVA, B.A.P. Mastite clínica e subclínica em rebanhos leiteiros da raça holandesa na região de Palmeiras de Goiás. *Revista Faculdade Montes Belos (FMB)*, v. 8, n. 5, p. 129-139, 2015.

JÚNIOR, P.S.A.; BELFORT, C.N.S.; SILVA, A.C.; DINIZ, P.H.B.; LIMA, R.C.F.; CONCI, A.; PAIVA, A.C. Detecção de regiões suspeitas de lesão na mama em imagens térmicas utilizando spatiogram e redes neurais. *Caderno de Pesquisa São Luís*, v. 20, n. 2, 2013.

- KULKARNI A.G; KALIWAL B. Bovine mastitis: a review. *International Journal of Recent Scientific Research*. v. 4, p. 543-548, 2013.
- LAHIRI, B.B.; S. BAGAVATHIAPPAN; T. JAYAKUMAR. Medical application of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, v.55, n.4, p.221- 235, 2012.
- LANGONI, H.; SALINA, A.; OLIVEIRA, G.C.; JUNQUEIRA, N.B.; MENOZZI, B.D.; JOAQUIM, S.F. Considerações sobre o tratamento das mastites. *Pesquisa Veterinária Brasileira* v.37, n.11, p.1261-1269, 2017.
- MARSHALL, R. T. Standard methods for the examination of dairy products. Baltimore. American Public Health Association, p.546, 1992.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics *Economy Geology*. El paso, v.58, p. 11246 – 66, 1963.
- MEDEIROS, B.B.L.; MOURA, D.J.; MASSARI, J.M.; CURI, T.M.R.; MAIA, A.P. Uso da geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema “wean to finish” na fase de terminação. *Revista Engenharia Agrícola*, v.34, n.5, 2014.
- MONARDES, H. Somatic cell counting and genetic improvement of resistance to mastitis. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES (1.: 1994 : Maringá). Anais... Maringá, 1994. p.01-19.
- MORTENSEN, A. K.; LISOUSKI, P.; AHRENDT, P. Weight prediction of broiler chickens using 3D computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* v.123 p.319–326,2016.
- OLIVEIRA, C.E.A.; DAMASCENO, F.A.; FERRAZ, G.A.S.; NASCIMENTO, J.A.C.; SILVA, E.; FERREIRA, M.R. Geoestatística aplicada a distribuição espacial das condições térmicas e ruído em instalações Compost Barn com diferentes sistemas de ventilação. *Ciência et Praxis* v. 09, n. 18, 2016.
- PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, n. 2, 2012.
- PAUL, I.; GANGULY, S.; Bovine mastitis, an economically important bacterial infection of udder in cattle: A review. *Indian Journal Science Research and Technology*, v.2, n.2, p.1-2, 2014.
- PEREIRA, L.G.P.; COELHO, S.G. Zootecnia de Precisão em bovinocultura de leite. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, n.79. p. 5, 2015.
- PEREZ DE DIEGO, A.C.; SANCHEZ-CORDON, P.J.; PEDRERA, M.; MARTINEZ LOPEZ, B.; GOMEZ-VILLAMANDOS, J.C.; SANCHEZ-VIZCAINO, J.M. The use of infrared thermography as a non-invasive method for fever detection in sheep infected with blue tongue virus. *The Veterinary Journal*, v.198, p.182-186, 2013.
- PEZESHKI, A.; STORDEUR, P.; WALLEMACQ, H.; SCHYNTS, F.; STEVENS, M.; BOUTET, P.; PEELMAN, L.J.; SPIEGELEER, B.; DUCHATEAU, L.; BUREAU, F.; BURVENICH, C. Variation of inflammatory dynamics and mediators in primiparous cows after intramammary challenge with *Escherichia coli*. *Veterinary Research*, v.42, n.15, 2011.

- PHILPOT, W. N.; NICKERSON, S. C. Mastitis: Counter Attack. A strategy to combat mastitis. Illinois: Babson Brothers Co., 1991.
- PIRES NETO, O. S.; SANTOS, M. C. M.; PIRES, F. D. S.; PIRES JÚNIOR, O. S. Aspectos práticos na produção de leite para atingir os parâmetros da instrução normativa Nº 62 (MAPA). Caderno de Ciências Agrárias, v.4, n.10, p.151-162, 2012.
- POLAT, B.; COLAK, A.; CENGİZ, M.; YANMAZ, L.E.; ORAL, H.; BASTAN, A.; KAYA, S.; HAYIRLI, A. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. Journal Dairy Science. Source: Journal of dairy science. v.93, n.8 p. 3525-3532, 2010.
- REDAELLI, V.; BERGERO, D.; ZUCCA, E.; FERRUCCI, F.; COSTA, L.N.; CROSTA, L.; LUZI, F. Use of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications. Journal of Equine Veterinary Science, p.1-6, 2013.
- REIS, E. M. B.; LOPES, M. A. Métodos automatizados de diagnóstico de mastite em vacas leiteiras: uma revisão. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia, v. 17, n. 3, p. 199-208, 2014.
- RESMINI, R.; ARÁÚJO, A.S.; NANTES, O.B.; ARAÚJO, C.; CONCI, A. Classificação Digital de Diagnósticos da Mama Baseado em Imagens Térmicas. Anais da Escola Regional de Informática da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) – Regional de Mato Grosso, v.7, 2016.
- RESMINI, R.; CONCI, A.; BORCHARTT, T.; LIMA, R.C.F.; MONTENEGRO, A. A.; PANTALEÃO, C.A. Diagnóstico precoce de doenças mamárias usando imagens térmicas e aprendizado de máquina. Revista Eletrônica no Vale do Itajaí, n.01, 2012.
- RING, E.F.J. The discovery of infrared radiation in 1800. The Imaging Science Journal, v.48, 2000.
- RICHTER, E. M.; MELO, T.; RUOSO, M.; ZEOLLA, N.; GROENWOLD, V. Ações de manejo e sanitárias no controle de CCS em rebanhos leiteiros agroecológicos. Cadernos de Agroecologia, v. 8, n. 2, 2013.
- ROBERTO JVB, SOUZA BB. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. Journal of animal Behaviour and Biometeorology, v.2, n.3, p. 73-84, 2014.
- ROCHA, P.C.A.; CUNHA, L.M.M.; MACHADO, A.V.; COSTA, R.O.; Análises microbiológicas do leite e tipos de adulterações. Revista Brasileira de Agrotecnologia, v.5,n.1,p. 01-06, 2015
- RUTTEN, C. J.; VELTHUIS, A. G.; STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. Journal of Dairy Science, v. 96, n. 4, p.1928-52, 2013
- SÁ, J.P.N.; FIQUEIREDO, C.H.A.; NETO, O.L.S.; ROBERTO, S.B.A.; GADELHA, H.S.; ALENCAR, M.C.B. Revista Brasileira de Gestão Ambiental. v. 12, n.1, p.01- 13, 2018.
- SAAB, A.B.; ZAMPROGNA, T.O.; LUCAS, T.M.; MARTINI, K.C.; MELLO, P.L.; SILVA, A.V.; MARTINS, L.A. Prevalence and etiology of bovine mastitis in the Nova Tebas, Parana. Semina: Ciências Agrárias, v. 35, n. 2, p. 835-844, 2014.

- SANTANA, Y.A.G.; FERNANDES, P.C.A.; SANTANA, M.C.M.S.; ALVES, L.B.S.; FERREIRA, S.B. Análise Microbiológica do leite de vacas com mastite subclínica no município de Bom Jesus. *Revista eletrônica Nutritime*, v.13, n.02, 2016
- SANTIAGO, F. S.; MONTENEGRO, A. A. A. Avaliação de parâmetros hidráulicos e manejo da irrigação por microaspersão em área de assentamento. *Engenharia Agrícola*, v.24, p.632-643, 2004.
- SANTOS, M.V.; FONSECA, L.F.L. Estratégias para controle de mastite e melhoria da qualidade do leite. 1ªed. Barueri: Manole, 2007.
- SCHALM O. W.; NOORLANDER D. D. Experiments and observations leading to development of the California Mastitis Test. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, v.130, p. 199-204, 1957.
- SILVA, J.M.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P; GUSELINI, C.; CALDAS, A.M.; JACOB, A. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*,v.16, n.8, p.903-909, 2012.
- STEENEVELD, W.; HOGEVEEN, H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*, v. 98, n. 1, p. 709-17, 2015.
- TESFAYE, B. Review on California Mastitis Test (CMT). *Journal of Veterinary Science & Research*, v.3,n.3, p.160, 2018.
- VARGAS, D.P.; NÖRNBERG, J.L.; MELLO, R.O.; SHEIBLER, R.B.;BREDA, F.C.; MILANI, M.P. Correlações entre a contagem de células somáticas e parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade do leite. *Ciência animal brasileira*, v.15, n.4, p. 473-483, 2014
- VLIEGHER, S.; FOX, L.K., PIEPERS, S.; McDOUGALL, S.; BARKEMA, H.W. Invited review: Mastitis in dairy heifers: nature of the disease, potential impact, prevention, and control. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n.3, p.1025-1040, 2012.
- WERNCKE, D.; GABBI, A. M.; ABREU, A. S.; FELIPUS, N. C.; MACHADO, N. L.; CARDOSO, L. L.; SCHMID, F. A.; ALESSIO, D. R. M.; FISHER, V.; Neto, A. T. Qualidade do leite e perfil das propriedades leiteiras no sul de Santa Catarina: abordagem multivariada. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.68, n.2, 2016.

CAPÍTULO I

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO ÚBERE DE VACAS DE LEITE SAUDÁVEIS E COM MASTITE

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO ÚBERE DE VACAS DE LEITE SAUDÁVEIS E COM MASTITE

RESUMO

Objetivou-se com essa pesquisa, avaliar imagens térmicas obtidas a partir de uma câmera termográfica por infravermelho, como ferramenta para diagnóstico de mastite, com ênfase no padrão de variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere de vacas em lactação, por meio da geoestatística. Foram selecionados 24 animais, sendo oito saudáveis, oito com mastite subclínica e oito com mastite clínica. Para análise da dependência espacial da temperatura de superfície do úbere foram obtidas 96 imagens, quatro por animal, nos enquadramentos anterolateral direito, anterolateral esquerdo e posterior. A temperatura média de superfície dos quartos mamários com classificação positiva para mastite subclínica apresentou valores entre $33,2 \pm 0,67^{\circ}\text{C}$ e $34,64 \pm 1,07^{\circ}\text{C}$; para os quartos negativos apresentaram valores entre $29,3 \pm 1,78^{\circ}\text{C}$ e $32,24 \pm 0,62^{\circ}\text{C}$. Os animais saudáveis apresentaram temperatura de superfície de úbere inferior àqueles com mastite subclínica. A temperatura da superfície do úbere dos animais com mastite clínica foi mais elevada, com valores entre $34,0$ e $37,5^{\circ}\text{C}$, comparativamente aos demais quadros clínicos. A escala adotada para análise do padrão das imagens identificou com sucesso a dependência espacial da temperatura de superfície do úbere, o que contribuiu para padronização dos procedimentos de diagnóstico para animais saudáveis, com mastite subclínica e clínica, por meio da geoestatística.

Palavras-chave: geoestatística, mastite subclínica, termografia

SPACE DEPENDENCE OF THE TEMPERATURE OF SURFACE OF UDDER OF HEALTHFUL COWS OF MILK AND WITH MASTITS

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate thermal images obtained from infrared thermographic camera as a tool for the diagnosis of mastitis, with emphasis on the spatial variability pattern of the udder surface temperature of lactating cows through geostatistics. Twenty-four animals were selected, eight healthy, eight with subclinical mastitis and eight with clinical mastitis. For the analysis of the spatial dependence of the surface temperature of the udder, 96 images were obtained, four per animal, in the right anterolateral, left and posterior anterolateral frames. The mean surface temperature of the

mammals with positive classification for subclinical mastitis presented values between $33.2 \pm 0.67^{\circ}\text{C}$ and $34.64 \pm 1.07^{\circ}\text{C}$; for the negative rooms presented values between $29.3 \pm 1.78^{\circ}\text{C}$ and $32.24 \pm 0.62^{\circ}\text{C}$. Healthy animals had a lower udder surface temperature than those with subclinical mastitis. The udder surface temperature of animals with clinical mastitis was higher, with values between 34.0 and 37.5°C , compared to other clinical conditions. The scale used to analyze the image pattern successfully identified the spatial dependence of udder surface temperature, which contributed to the standardization of diagnostic procedures for healthy animals with subclinical and clinical mastitis using geostatistics.

Keywords: geostatistics, subclinical mastitis, thermography

INTRODUÇÃO

A mastite ou mamite bovina é um processo inflamatório da glândula mamária decorrente de infecção bacteriana que ocasiona muitas perdas no setor leiteiro e, basicamente, pode apresentar-se de duas formas: clínica e subclínica.

Neste contexto, a termografia por infravermelho pode ser definida como uma técnica não invasiva de percepção da temperatura superficial de um corpo, uma vez que todo corpo com temperatura acima do zero absoluto (0 K) emite radiação térmica (Roberto & Souza, 2014).

Dentre alguns estudos que avaliaram a variação de temperatura do úbere de vacas em lactação, pode-se destacar Digiovani et al. (2016) que estudaram imagens térmicas como ferramenta de diagnóstico para detecção de mastite subclínica e, encontraram diferenças entre a temperatura do úbere saudável e com mastite subclínica. Polat et al. (2010) estudaram o emprego da termografia por infravermelho com o objetivo de identificar quadros de mastite subclínica, comparando-a com a contagem de células somáticas e o CMT e, observaram correlação positiva entre os métodos.

Pezeshki et al. (2011) estudaram a variação da dinâmica inflamatória por *Escherichia Coli* utilizando a termografia por infravermelho e verificaram que a técnica foi capaz de detectar mudanças de temperatura na superfície da pele do úbere. Gloster et al. (2011) e Redaelli et al. (2013) propuseram a análise de imagens térmicas como um método de prevenção de doenças, identificando a elevação da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, atuando como um sinal de alerta para a observação do animal.

O emprego da geoestatística para estudo da variabilidade espacial de atributos de interesse zootécnico tem sido utilizado na caracterização do conforto térmico animal (Silva et al.; 2012), concentração de gases (Medeiros et al., 2014), ruído (Oliveira et al., 2016) e para diagnóstico de doenças em humanos (Resmini et al., 2012).

Dessa forma, objetivou-se com essa pesquisa avaliar imagens térmicas obtidas a partir de câmera termográfica por infravermelho, como ferramenta para diagnóstico de mastite, com ênfase no padrão de variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere de vacas em lactação, por meio da geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma unidade de produção de leite, Fazenda Roçadinho, localizada no município de Capoeiras, Mesorregião Agreste, Microrregião do Vale do Ipojuca, estado de Pernambuco (latitude 8° 36' 33" S, longitude de 36° 37' 30" W e altitude de 733 m).

A precipitação pluviométrica média da região é de 588 mm por ano com temperatura média anual de 22,1°C. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Bsh, semiárido.

A seleção dos animais contou com vacas Girolando de mesma ordem de parto, estágio de lactação, idade, peso, escore corporal, produção, grau sanguíneo, sendo, então, monitoradas para obtenção de imagens térmicas do úbere. A quantidade de amostras foi determinada de acordo com os critérios de seleção e totalizaram 24 animais.

A condição clínica dos animais foi estabelecida pelo *California Mastitis Test* (CMT), antes da ordenha (depois do descarte dos primeiros jatos de leite), pois neste momento da ordenha o teor de gordura do leite é baixo e não interfere nos resultados visuais de escore do CMT. O teste foi realizado para cada quarto mamário, em que se atribuiu escores que variaram de 0 a 5, sendo que no escore zero não ocorreu formação de precipitado (saudável), no escore 1 houve uma leve precipitação (traço de infecção), no escore 2 houve moderada precipitação (mastite subclínica), no escore 3 uma precipitação nítida, mas sem formação de gel (mastite subclínica), no 4 nítida formação de gel (mastite subclínica) e no escore 5 uma acentuada formação de gel (mastite subclínica). Para limitar a subjetividade na interpretação dos resultados foram considerados para a seleção dos animais com mastite subclínica apenas os de escore de 2 a 5. Para a detecção dos casos de mastite clínica foi realizado o teste da caneca de fundo escuro. Neste teste foi possível detectar alterações visíveis no leite (menor volume

secretado, grumos, pus ou aspecto aquoso). Além disso, verificou-se nos animais a sensibilidade ao toque no úbere e tetos, pela presença do quadro inflamatório.

As imagens térmicas foram obtidas a partir de uma câmera termográfica por infravermelho, com resolução de 0,01°C, distância focal de 1,0 m e emissividade ajustada para 0,98 que é utilizada de acordo com o aplicativo Quick Report para ajuste das imagens. As imagens foram registradas no turno da manhã, antes da primeira ordenha dos animais, entre às 05 e 07h00, nos enquadramentos anterolateral esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior sendo quatro imagens por animal, totalizando 96 imagens térmicas para análise de seus respectivos quartos mamários (Figura 1).

A análise das imagens térmicas foi realizada por meio do programa Flir QuickReport®, com ajuste dos valores de emissividade, temperatura ambiente e umidade relativa do ar obtidas no momento do registro da imagem. As variáveis meteorológicas foram registradas a partir de um datalogger modelo HOBO U12-12.

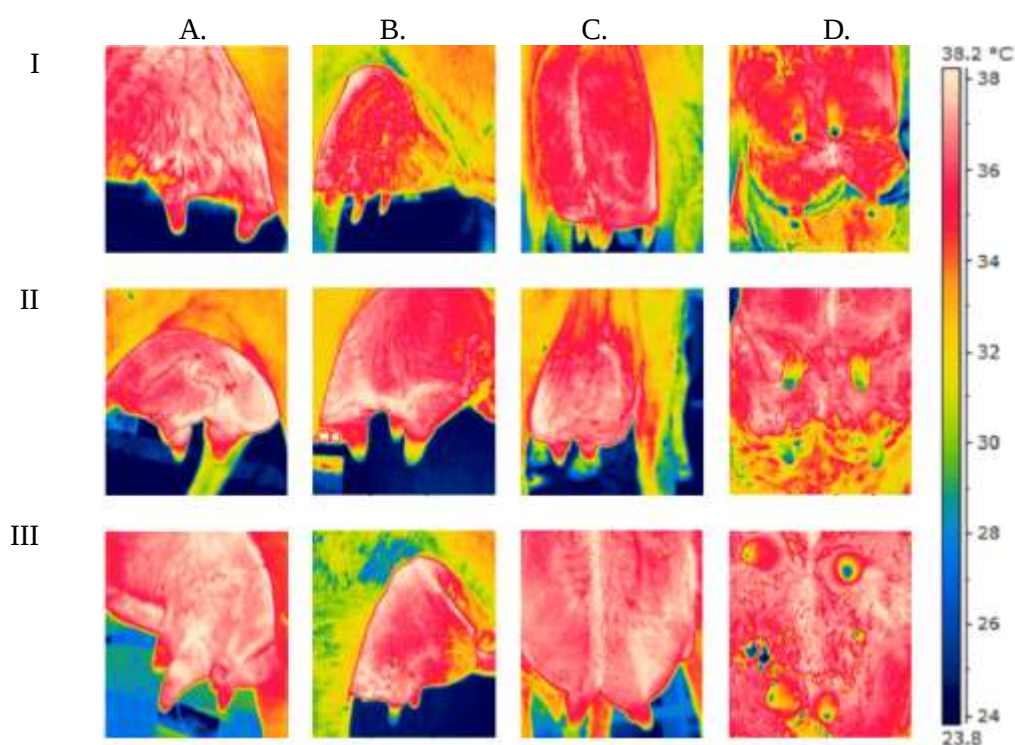


Figura 1. Imagens térmicas dos quadros clínicos (saudável - linha I; mastite subclínica - linha II; mastite clínica - linha III) nos enquadramentos anterolateral esquerdo (coluna A), anterolateral direito (coluna B), posterior (Coluna C) e inferior (Coluna D).

O critério adotado para determinação da área de abrangência de cada quarto mamário foi desenvolvido a partir de um plano cartesiano de 2,4 x 0,75 cm, em que se adotou um espaçamento de 5 mm para cada pixel, referente aos valores de temperatura de superfície da composição da área selecionada, desconsiderando a bordadura, assim foi obtida uma matriz de 25 x 80 mm, com 102 pontos amostrados (Figura 2).

Foi escolhido um número representativo de quartos mamários para análise, sendo 4 quartos por animal, com seus respectivos enquadramentos para obtenção das imagens e, 12 quartos para cada caso clínico (animais saudáveis, com mastite subclínica e mastite clínica) totalizando 36 quartos mamários analisados.

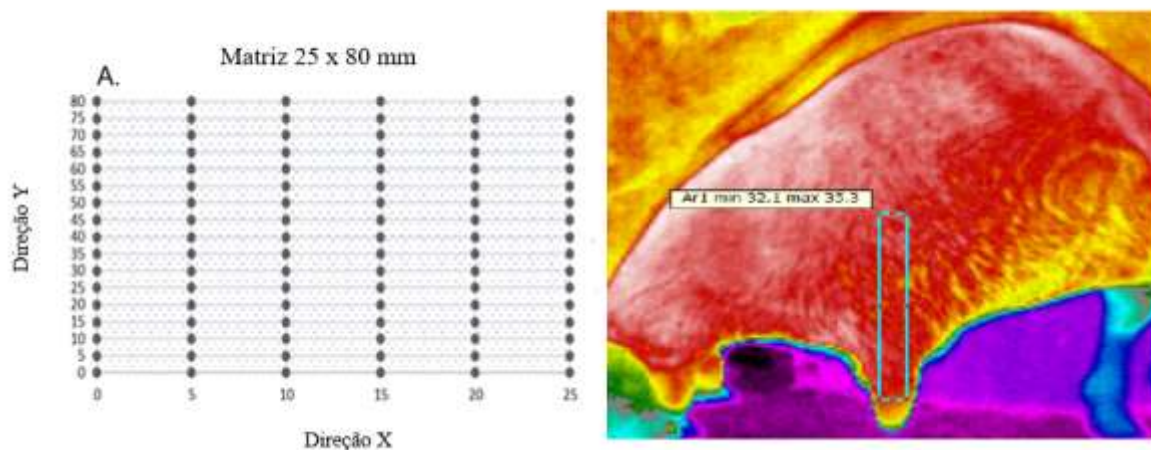


Figura 2. Malha de amostragem com as coordenadas X e Y com 102 pontos (A), referente à temperatura superficial da área selecionada (B) do quarto mamário

Os dados de temperatura da superfície do úbere, para cada quarto mamário, dos animais saudáveis e com mastite subclínica e clínica foram submetidos a análise estatística descritiva, com a determinação das medidas de tendência central (média e mediana) e medidas de dispersão (desvio-padrão e coeficiente de variação), além de verificar a aderência à distribuição normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, por meio do software Minitab versão 18. A análise de dependência espacial foi feita por meio de ajustes de semivariogramas, tomando por base a pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca (Vieira, 2000).

A partir do ajuste de um modelo matemático foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C_1 e o alcance, a). A ferramenta utilizada para análise geoestatística foi o GS+ 7.0 (Gamma Design Software 2004), em que foram obtidos os semivariogramas experimentais e, posteriormente, foram testados os modelos gaussiano, esférico, exponencial e linear. A escolha dos melhores modelos foi feita com base no critério de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983) em que os erros padronizados com média próxima a zero e desvio padrão próximo a um, apresentam o melhor ajuste.

Para determinar o grau de dependência espacial da temperatura da superfície, foi utilizado a classificação de Cambardella et al. (1994), no qual foram considerados a

relação efeito pepita por patamar, classificando-a como fortes aqueles que apresentaram < 25%, moderada de 25 a 75% e fraca >75%. A caracterização do grau de variabilidade foi realizada com os valores de coeficiente de variação (CV), conforme Warrick & Nielsen (1998), que considera como baixa variabilidade CV < 12%, média para valores entre 12 e 60% e alta variabilidade para valores CV > 60%.

Comprovado a dependência espacial, foi utilizado o método da krigagem ordinária para a construção dos mapas por meio do software Surfer®, versão 13.6 (Golden Software 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura de superfície do úbere para os animais saudáveis apresentou média entre 28,04 e 32,65 °C e coeficiente de variação indicando baixa variabilidade com valores entre 2,53 a 0,77 % (Tabela 1) e valores de desvio-padrão superiores aos dos animais com mastite subclínica (Tabela 2), o que indica maior variabilidade da temperatura de superfície nos quartos saudáveis.

Tabela 1. Análise descritiva para temperatura de superfície do úbere de vacas saudáveis

Parâmetros Descritivos	Temperatura Superficial do úbere (°C)											
	Saudáveis											
	1				2				3			
	Quartos mamários				Quartos mamários				Quartos mamários			
	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE
Média (°C)	30,16	30,65	30,83	32,65	31,15	30,48	30,48	28,29	33,38	28,04	29,26	29,66
Mediana(°C)	30,34	30,90	30,86	32,80	30,85	30,18	27,79	27,83	33,51	28,43	29,2	29,67
DP	1,40	2,21	1,70	0,77	1,94	1,74	1,02	2,53	0,81	1,30	1,13	0,18
Variância	1,95	4,9	2,91	0,59	3,75	3,03	1,04	6,39	0,66	1,69	1,29	0,03
CV (%)	4,63	7,23	5,53	2,36	6,22	5,71	3,65	8,93	2,44	4,63	3,88	0,61
Curtose	-0,61	-0,96	-1,23	-0,28	-1,0	-0,79	-1,28	-1,29	-0,69	-0,85	-0,90	0,04
Normalidade	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior Direito; AD – Anterolateral Direito; AE – Anterolateral Esquerdo; DP – Desvio Padrão; CV- Coeficiente de variação; **normalidade a 1% de significância

Os valores médios de temperatura de superfície dos quartos mamários positivos para mastite subclínica (escore 5) apresentaram valores da ordem de 34,64°C ± 0,67 (anterolateral esquerdo), 33,85°C ± 0,68 (posterior esquerdo) e 33,36°C ± 0,32 (posterior direito), respectivamente (Tabela 1). Os quartos mamários negativos (saudáveis) apresentaram temperaturas que variaram entre 29,3°C ± 1,78 e 31,58°C ± 0,62 (Tabela 2). De acordo com Polat et al. (2010) quartos com mastite subclínica tiveram temperatura superficial 2,35°C superior aos quartos saudáveis. No entanto, os valores encontrados

foram de 35,80 °C para quartos com mastite e 33,45°C para quartos saudáveis, divergindo dos valores encontrados neste estudo, que apresentaram de 5,3 a 4,55 °C acima da temperatura de superfície dos úberes saudáveis. Bortolami et al. (2015) encontraram temperaturas inferiores às de Polat (2010) para mastite subclínica. Sendo 30,42 °C para quartos saudáveis e 33,08 °C para quartos com mastite subclínica.

Tabela 2. Estatística descritiva para temperatura superficial do úbere de vacas com mastite subclínica

Temperatura Superficial do úbere (°C)												
Mastite Subclínicas												
Parâmetros Descritivos	1				2				3			
	Quartos mamários				Quartos mamários				Quartos mamários			
	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE
Média(°C)	30,95	31,40	29,30	33,2	32,24	31,58	29,80	34,64	33,85	33,36	30,23	29,63
Mediana(°C)	31,32	31,97	29,16	33,43	32,25	32,12	29,82	34,95	33,83	33,83	29,95	29,95
DP	1,20	1,78	1,78	0,67	0,62	1,44	0,95	1,07	0,68	0,32	0,92	0,76
Variância	1,45	3,19	7,51	0,45	0,38	2,08	0,90	1,14	0,46	0,10	0,86	0,58
CV (%)	3,89	5,68	9,35	2,02	1,91	4,57	3,19	3,09	2,0	0,95	3,06	2,57
Curtose	-0,48	-0,25	-1,07	0,25	-0,61	-0,99	-0,21	-0,58	-0,07	-0,5	-1,32	-1,02
Normalidade	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior Direito; AD – Anterolateral Direito; AE – Anterolateral Esquerdo; DP – Desvio Padrão; CV- Coeficiente de variação; **normalidade a 1% de significância

Com relação as imagens analisadas, houve maior ocorrência de animais com mastite no quarto anterolateral esquerdo (AE), a temperatura nestes quartos apresentou maior média, menor variação, com coeficiente de variação (CV, %) indicando baixa variabilidade e menores valores de desvio-padrão, seguido pelos quartos posterior esquerdo (PE), anterolateral direito (AD) e posterior direito (PD). Segundo Warrick e Nielsen (1998) considera-se baixa variabilidade $CV < 12\%$.

Segundo Little & Hills (1978), quando o valor da média e mediana são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Isto pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (Cambardella et al., 1994) o que possibilitou as análises geoestatísticas do conjunto de dados. Sendo que ao submeter os dados ao teste de Kolmogorov-Smirnov foi confirmada a hipótese de normalidade dos dados para todos os estados clínicos.

Para os animais com mastite subclínica, os valores de curtose foram negativos, com curva de distribuição normal menos acentuada, com exceção do quarto anterolateral esquerdo próximo a zero (0,25). Para os animais saudáveis, os valores foram negativos com exceção do anterolateral esquerdo que apresentou valor de 0,04, curva normal. Para os animais com mastite clínica os valores foram negativos.

Os animais classificados com mastite clínica apresentaram temperatura média de superfície do úbere de $37,58 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$ a $37,11 \pm 0,61^{\circ}\text{C}$ (tabela 3). Quartos mamários com mastite clínica (tabela 3) apresentaram temperaturas maiores quando comparados aos quartos com mastite subclínica e os saudáveis (Tabela 1 e 2). Os valores dos coeficientes de variação indicaram baixa variabilidade (Warrick & Nielsen, 1998) bem como os desvios-padrão. Os valores de curtose foram negativos, indicando curva de distribuição normal menos acentuada.

Tabela 3. Análise descritiva para temperatura de superfície do úbere de vacas classificadas com mastite clínica

Temperatura Superficial do úbere ($^{\circ}\text{C}$)												
Parâmetros Descritivos	Clínicas											
	Animal 1				Animal 2				Animal 3			
	Quartos mamários				Quartos mamários				Quartos mamários			
	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE
Média ($^{\circ}\text{C}$)	37,11	37,20	37,27	37,30	37,45	37,48	37,47	37,47	37,52	37,58	37,55	37,56
Mediana ($^{\circ}\text{C}$)	37,25	37,27	37,32	37,30	37,50	37,51	37,49	37,52	37,57	37,62	37,57	37,61
DP	0,61	0,56	0,46	0,38	0,37	0,35	0,38	0,35	0,33	0,33	0,36	0,36
Variância	0,37	0,31	0,21	0,15	0,14	0,13	0,15	0,12	0,11	0,11	0,13	0,13
CV (%)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Curtose	2,35	3,70	3,36	1,06	-0,60	-0,61	-0,40	-0,99	-1,04	-0,86	-0,73	-0,59
Normalidade	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior Direito; AD – Anterolateral Direito; AE – Anterolateral Esquerdo; DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de variação; **normalidade a 5% de significância

As análises geoestatísticas indicaram que o atributo analisado não apresentou dependência espacial no quarto posterior direito (1). Essa falta de dependência espacial pode estar relacionada à distância entre os pontos considerados, ou seja, os dados não apresentaram variabilidade na malha amostral (Tabela 4).

Segundo Souza et al. (2014) quando o conjunto de dados apresenta efeito pepita puro a dependência espacial não pode ser quantificada. Nesse caso a informação que melhor representa esses dados é a média. O efeito pepita reflete a variabilidade não explicada em função da distância da amostragem utilizada, como variações locais, erros de análise, erros de amostragem e outros (Silva et al. 2012).

Os valores dos alcances apresentaram valores menores para os animais saudáveis em comparação aos animais com mastite subclínica, exceto para o quarto anterolateral direito (vaca 1) que comparativamente apresentou valor superior (Tabela 4).

A relação $C0/(C0+C1)$ foi considerada forte para todos os quartos exceto para o posterior esquerdo (3) que foi considerado como média dependência (Tabela 4).

Tabela 4. Modelos e parâmetros dos semivariogramas da temperatura superficial do úbere de vacas saudáveis

Temperatura Superficial do úbere (°C)												
Saudáveis												
Parâmetros Geoestatísticos	1				2				3			
	Quartos mamários				Quartos mamários				Quartos mamários			
	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE
Efeito pepita (C0)	0,00	-	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Patamar (C0+C1)	2,45	-	0,61	3,43	3,87	4,57	7,76	1,29	0,81	1,9	1,58	0,51
Alcance (cm)	7,55	-	7,71	7,5	7,74	7,74	8,72	7,6	7,67	7,53	7,59	8,69
C0/C0+C1	F	-	F	F	F	F	F	F	M	F	F	F
Modelo	Gau	Epp	Gau	Gau	Gau	Gau	Esf	Gau	Gau	Gau	Gau	Esf
R ²	0,87	-	0,86	0,8	0,86	0,78	0,83	0,79	0,85	0,86	0,86	0,95
Validação Cruzada												
Média dos erros	0,01	-	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DP	0,84	-	2,56	1,13	0,89	0,99	1,05	1,05	0,98	1,04	0,87	0,98

PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior Direito; AD – Anterolateral Direito; AE – Anterolateral Esquerdo; F – Forte; Gau- Gaussiano; Esf – Esferico; Exp – Exponencial; DP -Desvio padrão; C0/C0+C1 – Grau de dependência

A análise da variabilidade espacial da temperatura de superfície do úbere para os quartos infectados, com os resultados dos parâmetros de variabilidade para os 102 pontos, seguem na Tabela 4. Os modelos que melhor se ajustaram foi o esférico e o gaussiano, seguindo o critério de Jack-Knifing para validação do semivariograma teórico. De acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994), o grau de dependência espacial foi forte para todos os quartos mamários. As temperaturas apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, em que se observou os maiores valores para os quartos posterior direito, posterior esquerdo e anterolateral direito (tabela 4). A função do alcance é estabelecer o limite entre a dependência das variáveis, servindo como indicativo para determinar a proximidade e o afastamento entre elas. Pontos coletados em distâncias maiores que o limite do alcance foram considerados como independentes (Vieira 2000).

A análise dos semivariogramas para as temperaturas superficiais dos quartos mamários não indicou nenhuma direção preferencial com relação aos três quadros clínicos, nesse caso, os dados não possuem anisotropia, a variabilidade espacial dos dados ocorre da mesma maneira em todas as direções (Vieira, 2000).

Tabela 5. Modelos e parâmetros dos semivariogramas da temperatura superficial do úbere de vacas com mastite subclínica

Temperatura Superficial do úbere (°C)												
Mastite Subclínicas												
Parâmetros Geoestatísticos	Animal 1				Animal 2				Animal 3			
	Quartos mamários				Quartos mamários				Quartos mamários			
	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE
Efeito pepita (C0)	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Patamar (C0+C1)	1,77	4,15	9,3	0,44	1,13	0,52	2,53	1,41	0,24	0,87	1,03	0,72
Alcance (cm)	8,45	9,05	7,58	8,18	8,73	8,66	8,57	7,55	8,21	8,68	8,7	8,55
C0/C0+C1	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Modelo	Gau	Gau	Gau	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Gau	Exp.	Esf.	Esf.	Esf.
R ²	0,8	0,78	0,85	0,79	0,9	0,75	0,84	0,75	0,9	0,77	0,81	0,74
Validação Cruzada												
Média dos erros	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00
DP	1,00	1,06	1,02	1,11	0,95	1,25	1,05	1,02	1,07	1,23	1,06	1,25

PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior Direito; AD – Anterolateral Direito; AE – Anterolateral Esquerdo; F – Forte; Gau- Gaussiano; Esf – Esferico; Exp – Exponencial; DP -Desvio padrão; C0/C0+C1 – Grau de dependência

Na análise dos semivariogramas para os animais com mastite clínica, os modelos que apresentaram ajuste adequado foram o esférico, o gaussiano e o exponencial, com forte grau de dependência espacial, exceto para os quartos anterolateral direito (1, 2 e 3) e posterior direito (3). Ambos apresentaram dependência moderada (Tabela 6). As temperaturas superficiais dos quartos mamários não indicaram nenhuma direção preferencial, neste caso os dados não possuem anisotropia (Vieira, 2000).

Os alcances apresentaram valores superiores aos alcances dos animais saudáveis e com mastite subclínica.

Tabela 6. Modelos e parâmetros dos semivariogramas da temperatura superficial do úbere de vacas com mastite clínica

Temperatura Superficial do úbere (°C)												
Clínicas												
Parâmetros Geoestatísticos	Animal 1				Animal 2				Animal 3			
	Quartos mamários				Quartos mamários				Quartos mamários			
	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE	PE	PD	AD	AE
Efeito pepita (C0)	0,04	0,03	0,12	0,00	0,02	0,01	0,1	0,00	0,05	0,07	0,03	0,00
Patamar (C0+C1)	0,33	0,35	0,29	0,19	0,17	0,24	0,21	0,16	0,14	0,14	0,09	0,09
Alcance (cm)	21,4	11,8	12,15	7,9	8,13	9,31	27,2	13,4	13,2	25,5	17,6	7,1
C0/C0+C1	F	F	M	F	F	F	M	F	F	M	M	F
Modelo	Esf.	Esf.	Gau.	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Exp.	Esf.	Esf.	Esf.	Exp.
R ²	1	0,99	0,99	0,99	0,84	0,96	0,99	0,83	0,99	0,99	0,99	0,94
Validação Cruzada												
Média dos erros	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
DP	0,78	0,8	2,56	1,11	0,6	0,99	1	1,05	0,98	1,04	0,85	0,8

PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior Direito; AD – Anterolateral Direito; AE – Anterolateral Esquerdo; F – Forte; Gau- Gaussiano; Esf – Esferico; Exp – Exponencial; DP – Desvio padrão; C0/C0+C1 – grau de dependência

Na Figura 3 estão representados os mapas das temperaturas superficiais, em que é possível observar a variabilidade espacial dos quartos anterolateral esquerdo de um animal com mastite subclínica (Figura 3A), animal saudável (Figura 3B) e animal com mastite clínica (Figura 3C). Observa-se evidente distinção entre os mapas, com maior ocorrência de áreas vermelhas, referente a maior temperatura, associada ao animal com mastite subclínica, com pouca concentração de linhas de contorno fechadas, o que indica menor variação de temperatura de superfície do quarto infectado (Figura 3A). Os intervalos de temperatura para os animais saudáveis foram de 28,29 a 33,38 °C. Para os animais com mastite subclínica os intervalos foram de 33,2 a 34,64 °C. Para os animais com mastite clínica foram de 37,11 a 37,58 °C.

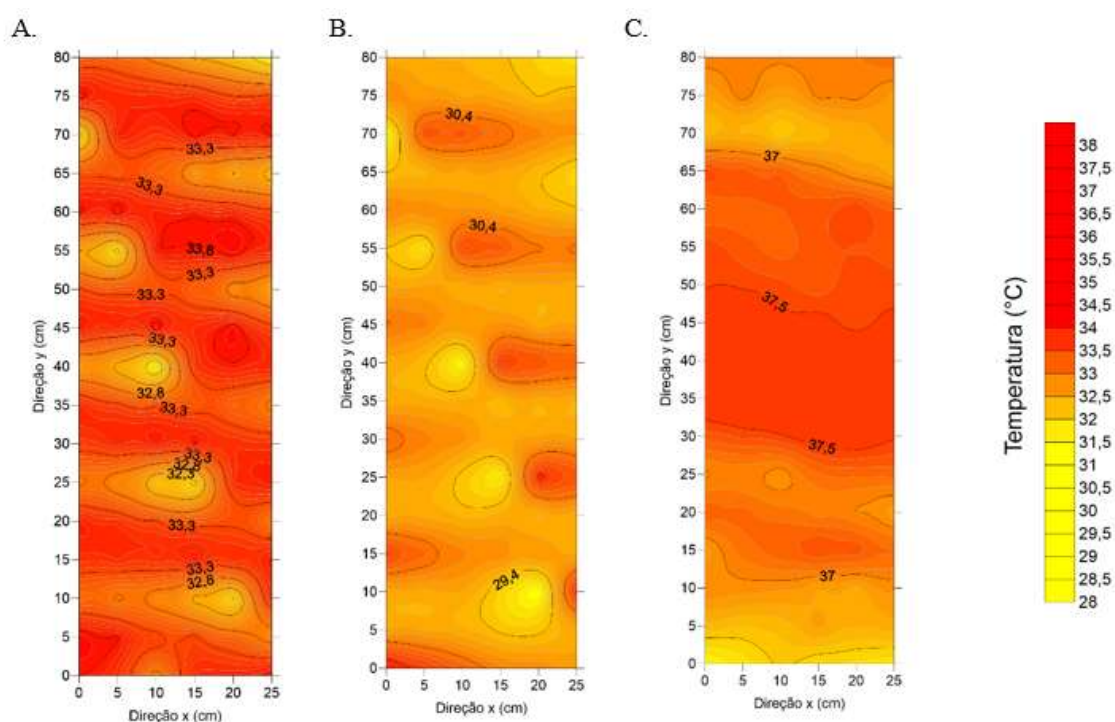


Figura 3. Mapas de krigagem para temperatura superficial referente aos quartos anterolateral esquerdo de um animal classificado com mastite subclínica (A), saudável (B) e com mastite clínica (C)

A temperatura de superfície que se encontra no intervalo de 33,2 a 34,0°C (tons vermelhos), como também os valores de 31,3 a 33,1°C (tons amarelos), apresenta variação no intervalo do espaço amostral e estão dispostos em pontos mais isolados (Figura 3A).

No quarto saudável, observa-se predominância de tons amarelos, proveniente dos intervalos de temperatura entre 28,4 e 30,4 °C e uma estrutura mais homogênea entre as temperaturas, maior ocorrência de concentrações de linhas de contorno fechadas, o que sugere maior variação nos valores de temperatura. A área avermelhada no mapa corresponde as temperaturas 30,6 a 32,0°C que ocorreram com menor incidência.

A Figura 3C apresenta temperaturas mais elevadas, variando de 34,0 a 37,5°C, predominância de linhas de contorno abertas sugerindo menor variação na temperatura, comparativamente aos demais quadros clínicos.

CONCLUSÕES

Os animais saudáveis apresentaram temperatura de superfície de úbere inferior àqueles com mastite subclínica e clínica.

A escala adotada para análise do padrão das imagens identificou com sucesso a dependência espacial da temperatura de superfície do úbere, o que contribuiu para

padronização dos procedimentos de diagnóstico para animais saudáveis, com mastite subclínica e clínica, por meio da geoestatística.

REFERÊNCIAS

- BORTOLAMI, A.; FIORE, E.; GIANESELLA, M.; CORRO, M.; CATANIA, S.; MORGANTE, M. Evaluation of the udder health status in subclinical mastitis affected dairy cows through bacteriological culture, somatic cell count and thermographic imaging. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, v. 18, n. 4, p. 799-805, 2015.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.58, p. 1501-1511, 1994.
- DIGIOVANI, D.B.; BORGES, M.H.F.; GALDIOLI, V.H.G.; MATIAS, B.F.; BERNARDO, G.M.; SILVA, T.R.; FÁVARO, P.C.; JÚNIOR, F.A.B.; LOPES, F.G.; JÚNIOR, C.K.; RIBEIRO, E.L.A. Infrared thermography as diagnostic tool for bovine subclinical mastitis detection. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade animal*, v.10, n.4, p.685-692, 2016.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+ - Geostatistics for the Environmental Sciences. Version 7.0. Michigan: 2004. 1 CD-ROM.
- GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.; BASHIRUDDIN, J.; PATON, D.J. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Veterinary Research*, v.7, p.1746-6148, 2011.
- GOLDEN SOFTWARE - SURFER FOR WINDOWS. Superface mapping system. New York, Versão 13.6.
- LITTLE, T. M.; HILLS, F. J. Agricultural experimentation. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- MEDEIROS, B.B.L.; MOURA, D.J.; MASSARI, J.M.; CURI, T.M.R.C.; MAIA, A.P.A. Galpão de suínos criados em Sistema “wean to finish” na fase de terminação. *Engenharia Agrícola*, v.34, n.5, p.800-811, 2014.
- MINITAB. Programa Estatístico, versão 18 para Windows, Pennsylvania: State College, 2017. CD ROM.
- OLIVEIRA, C.E.A.; DAMASCENO, F.A.; FERRAZ, G.A.S.; NASCIMENTO, J.A.C.; SILVA, E.; FERREIRA, M.R. Geoestatística aplicada a distribuição espacial das condições térmicas e ruído em instalações Compost Barn com diferentes sistemas de ventilação. *Ciência et Praxis* v. 09, n. 18, 2016.
- PEZESHKI, A.; STORDEUR, P.; WALLEMACQ, H.; SCHYNTS, F.; STEVENS, M.; BOUTET, P.; PEELMAN, L.J.; SPIEGELEER, B.; DUCHATEAU, L.; BUREAU, F.; BURVENICH, C. Variation of inflammatory dynamics and mediators in primiparous cows after intramammary challenge with *Escherichia coli*. *Veterinary Research*, v.42, n.15, 2011.
- POLAT, B.; COLAK, A.; CENGIZ, M.; YANMAZ, L.E.; ORAL, H.; BASTAN, A.; KAYA, S.; HAYIRLI, A. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal Dairy Science*. Source: *Journal of dairy science*. v.93, n.8 p. 3525-3532, 2010.

- REDAELLI, V.; BERGERO, D.; ZUCCA, E.; FERRUCCI, F.; NANNI, L.; CROSTA, L.; LUZI, F. Use of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications. *Journal of Equine Veterinary Science*, p.1-6, 2013.
- RESMINI, R.; CONCI, T.B.; LIMA, R.C.F.; MONTENEGRO, A.A.; PANTALEÃO, C.A. Diagnóstico precoce de doenças mamárias usando imagens térmicas e aprendizado de máquina. *Revista eletrônica do Alto Vale do Itajaí*, n.1, 2012.
- ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, v.2, n.3, p.73-84, 2014.
- SILVA, I.M.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GUISELINI, C.; CALDAS, A.M.; JACOB, A.L. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p.903-909, 2012.
- SOUZA, Z.M.; SOUZA, G.S.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.2, p.261-268, 2014.
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VAUCHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. *Soil Science Society American Journal*, v.47, p.175-184, 1983.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R (eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.1, p.1-53, 2000.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. New York: Academic, p.655-675, 1998.

CAPÍTULO II

INFERÊNCIA EXPLORATÓRIA DE DADOS NA OCORRÊNCIA DE MASTITE EM BOVINOS DE LEITE

INFERÊNCIA EXPLORATÓRIA DE DADOS NA OCORRÊNCIA DE MASTITE EM BOVINOS DE LEITE

RESUMO

Objetivou-se com esse estudo empregar a técnica de componentes principais aos dados fisiológicos e as variáveis termohigrométricas do ambiente, correlacionados à detecção de mastite clínica e subclínica em bovinos de leite. Foram selecionadas 24 vacas Girolando em lactação e condições clínicas distintas (saudáveis, com mastite clínica e subclínica) para o levantamento de dados fisiológicos: temperatura de superfície do úbere, TS (°C); temperatura do globo ocular, TO (°C); temperatura retal, TR (°C); frequência respiratória, FR (mov. min⁻¹). A temperatura da superfície do úbere foi determinada por meio de imagens térmicas, sendo quatro imagens por animal, nos enquadramentos anterolateral esquerdo (AE), anterolateral direito (AD), posterior direito (PD) e esquerdo (PE), totalizando 96 imagens. A análise exploratória dos dados foi realizada por meio de técnica estatística multivariada com o emprego de componentes principais em que se admitiu nove variáveis, TS nos enquadramentos AE, AD, PD, PE TO; TR; FR, temperatura do ar (Tar, °C) e umidade relativa do ar (UR, %). Os quartos representativos dos animais com mastite clínica e subclínica apresentaram temperatura de superfície do úbere 8,55 e 2,46°C superior à dos animais saudáveis, respectivamente. A técnica de componentes principais permitiu verificar as variáveis correlacionadas com o quadro clínico dos animais e o grau de dependência entre as variáveis estudadas.

Palavras-chave: análise multivariada, imagens térmicas, vacas em lactação

EXPLORATORY DATA INFERENCE ON THE OCCURRENCE OF MASTITIS IN MILK BOVINE

ABSTRACT

The objective of this study was to use the main components technique to the physiological data and thermohygrometric variables of the environment, correlated to the detection of clinical and subclinical mastitis in milk cattle. Twenty-four Girolando cows were selected for lactation under different clinical conditions (healthy, with clinical and subclinical mastitis) for the collection of physiological data: (udder surface temperature, TS (°C), eye

temperature, TO (°C); rectal temperature, TR (°C), respiratory rate, FR (min⁻¹). The udder surface temperature was determined by means of thermal images, with four images per animal, in the left anterolateral (AE), right anterolateral (AD), right posterior (PD) and left (PE) frames, totaling 96 images. The exploratory analysis of the data was performed using a multivariate statistical technique with the use of principal components in which nine variables (TS - AE, AD, PD and PE, TO, TR, FR, air temperature, Tar (°C) and relative humidity, RH (%)). The representative rooms of the animals with clinical and subclinical mastitis presented urea surface temperature 8,55 and 2,46°C higher than healthy animals, respectively. The main components technique allowed to verify the variables correlated with the clinical picture of the animals and the degree of dependence among the studied variables.

Keywords: multivariate analysis, thermal imaging, lactating cows

INTRODUÇÃO

A pecuária de leite é uma atividade de relevância para o agronegócio brasileiro, sendo responsável pela disponibilidade de um produto de alto valor nutricional à população. No entanto, sua eficiência produtiva tem como principal entrave à incidência de mastite no rebanho em lactação, que ocasiona prejuízos econômicos e depreciação na qualidade do produto final. A mastite é uma doença pluri-etiológica que causa grandes prejuízos à produção leiteira mundial, caracterizado pelo processo inflamatório da glândula mamária, decorrente de infecção bacteriana, para sua fase subclínica e clínica (VLIEGHER et al. 2012; LANGONI et al., 2017).

Nesse sentido, o diagnóstico dos quadros de infecção pode ser alcançado por método menos invasivo e de rápida resposta pela técnica de termografia por infravermelho, definida pelo mapeamento térmico de uma superfície alvo, a partir da radiação infravermelha emitida pela superfície do corpo (ROBERTO E SOUZA, 2014). Uma de suas vantagens é o auxílio na percepção e localização de focos específicos de alterações de temperatura, evidenciando possível quadro inflamatório antes dos sinais clínicos (FERREIRA, ÁVILA FILHO e FERNANDA, 2016).

O emprego desta técnica, com ênfase na detecção de quadros inflamatórios iniciais foi relatado em alguns estudos como Polat (2010), Pezeshki et al. (2011) e Digiovani et al. (2016) que estudaram imagens térmicas como ferramenta de diagnóstico para detecção de mastite subclínica e verificaram que a termografia permitiu identificar mudanças de temperatura na superfície da pele do úbere dos animais. Gloster et al. (2011) e Redaelli

et al. (2013) propuseram a análise de imagens térmicas como um método preventivo, pois detecta alterações da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, atuando como um sinal de alerta para a observação do animal.

O levantamento de dados físicos do ambiente e fisiológicos dos animais, para auxiliar nos processos de tomada de decisão, podem ser alcançados com o auxílio da análise multivariada pela técnica de componentes principais.

O emprego da técnica de componentes principais em pesquisas de interesse zootécnico, tem sido utilizada para avaliar características de produção de aves de postura (PAIVA, TEIXEIRA e YAMAKI, 2010), estimativa da distância genética em bovinos de corte no Brasil (SOUZA et.al, 2010) e para avaliar características de crescimento em bovinos de corte (MUNIZ et al., 2014).

Portanto, a utilização da câmera termográfica por infravermelho é um método eficaz para avaliação e identificação de quadro infeccioso de mastite subclínica em bovinos de leite, com respaldo no levantamento de dados do ambiente de produção, o que permite ampliar a interpretação das imagens, gerando informações confiáveis e relevantes no auxílio ao diagnóstico da mastite em suas fases clínicas e subclínicas.

Nesse contexto, objetivou-se com este estudo empregar a análise de componentes principais aos dados fisiológicos e termohigrométricos do ambiente, correlacionados à detecção de mastite subclínica e clínica em bovinos de leite.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Fazenda Roçadinho que é uma unidade de produção localizada no município de Capoeiras, Estado de Pernambuco (latitude 8° 36' 33" S, longitude de 36° 37' 30" W e altitude de 733 m).

A precipitação pluviométrica média da região é de 588 mm por ano, com temperatura média anual de 22,1°C. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Bsh, semiárido (Vianello e Alves, 1991).

A seleção dos animais contou com vacas Girolando de mesma ordem de parto, estágio de lactação, idade, peso, escore corporal, produção, grau sanguíneo, sendo, então, monitoradas para obtenção de imagens térmicas do úbere. A quantidade de amostras foi determinada de acordo com os critérios de seleção e totalizaram 24 animais, oito animais saudáveis, oito com mastite subclínica e oito com mastite clínica.

A condição clínica dos animais foi estabelecida pelo *California Mastitis Test* (CMT), antes da primeira ordenha do dia, com descarte dos primeiros jatos de leite. O teste foi realizado para cada quarto mamário, em que se atribuiu escores que variaram de

0 a 5, sendo que no escore zero não ocorreu formação de precipitado (saúdável), no escore 1 houve leve precipitação (traço de infecção), no escore 2 moderada precipitação, no escore 3 precipitação nítida, mas sem formação de gel, no escore 4 nítida formação de gel e no escore 5 acentuada formação de gel.

Para limitar a subjetividade na interpretação dos resultados foram considerados para a seleção dos animais com mastite subclínica os escores de 2 a 5. Para a detecção dos casos de mastite clínica foi realizado o teste da caneca de fundo escuro. Neste teste foi possível detectar alterações visíveis no leite (menor volume secretado, grumos, pus ou aspecto aquoso). Além disso, verificou-se nos animais a sensibilidade ao toque no úbere e tetos, pela presença do quadro inflamatório.

As imagens térmicas foram obtidas a partir de uma câmera termográfica por infravermelho, com resolução de 0,01°C, distância focal de 1,0 m e emissividade ajustada para 0,98 que é utilizada de acordo com o aplicativo Quick Report. As imagens foram registradas no turno da manhã, antes da primeira ordenha dos animais, entre às 05 e 07h00, nos enquadramentos anterolaterais esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior, sendo quatro imagens por animal, totalizando 96 imagens térmicas para análise de seus respectivos quartos mamários (Figura 1).

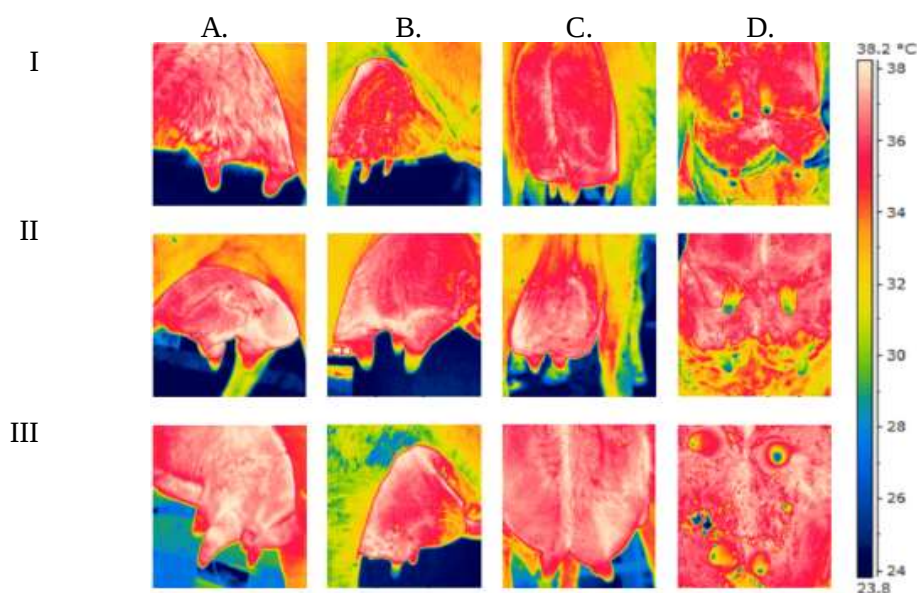


Figura 1. Imagens térmicas dos quadros clínicos (saúdável - linha I; mastite subclínica - linha II; mastite clínica - linha III) nos enquadramentos anterolateral esquerdo (coluna A), anterolateral direito (coluna B), posterior (Coluna C) e inferior (Coluna D).

A análise das imagens térmicas foi realizada por meio do programa Flir QuickReport®, com ajuste dos valores de emissividade, temperatura ambiente e umidade

relativa do ar obtidas no momento do registro da imagem. As variáveis meteorológicas foram registradas a partir de um datalogger modelo HOBO U12-12.

As variáveis meteorológicas registradas na sala de ordenha, temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) foram obtidas concomitantemente às imagens térmicas, por meio de dataloggers, modelo HOBO U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA).

As respostas fisiológicas, temperatura retal (TR, °C), frequência respiratória (FR, mov. min⁻¹) e temperatura do globo ocular (TO, °C) foram registradas no decorrer do monitoramento dos animais avaliados. Todos os animais foram submetidos a essas determinações.

A FR foi determinada pela contagem do número de movimentos da região do flanco dos animais, no intervalo de 1 min. Após o registro da FR foram tomadas as medidas da TR, com auxílio de termômetro digital de uso veterinário, escala entre 20 e 50°C, introduzido no reto dos animais até sua estabilização. Para o registro da TO foi utilizado o termovisor, respeitando o mesmo critério adotado para obtenção das imagens térmicas do úbere dos animais.

A análise exploratória dos dados foi realizada por meio de técnica estatística multivariada por componentes principais, em que se admitiu nove variáveis: temperatura superficial do úbere no enquadramento anterolateral esquerdo (AE), anterolateral direito (AD), posterior direito (PD), posterior esquerdo (PE), temperatura do globo ocular (TO), temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), umidade relativa do ar (UR) e temperatura do ar (Tar).

Para estudo da variação da temperatura em cada quarto do úbere dos animais avaliados, considerou-se a caracterização do ambiente de produção (Tar e UR) e variáveis fisiológicas (FR, TR e TO) por meio do emprego da técnica para verificar a associação das variáveis, observando a direção e a magnitude dos vetores, para inferir sobre a influência das variáveis e a correlação entre elas sobre a temperatura superficial do úbere.

A técnica de análise de componentes principais consistiu em transformar o conjunto original de variáveis em um novo conjunto de dimensões equivalentes, denominado componentes principais. A premissa desse procedimento é de que os primeiros componentes principais, contêm a maior variabilidade dos dados originais. Contudo, pode-se racionalmente descartar os demais componentes, reduzindo o número de variáveis.

O critério para descarte de variáveis utilizado foi recomendado por Jolliffe (1973), sendo que o número de variáveis descartadas deve ser igual ao número de componentes

cujas variâncias (autovalor) é inferior a 0,7. No descarte de variáveis, aquela que apresenta o maior coeficiente (valor absoluto) no componente principal de menor autovalor (menor variância) deve ser menos importante para explicar a variância total e, portanto, passível de descarte.

Pelo coeficiente de correlação Pearson com variação entre -1 e 1, considerou-se a direção (positiva ou negativa) da correlação e a força da relação entre as variáveis. A correlação perfeita indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há correlação linear entre as variáveis (Aldrich, 1995; Kozak, 2009).

Todas as análises foram realizadas utilizando os programas MINITAB (2017) versão 18.1 e Origin 8.6 (2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis ambientais, respostas fisiológicas dos animais e a temperatura da superfície do úbere, obtida a partir da análise das imagens térmicas, em seus respectivos enquadramentos, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise exploratória das variáveis estudadas, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV)

Variáveis	Estado clínico do animal					
	Saudáveis	CV	Subclínica	CV	Clínica	CV
PE	29,09 ± 1,49	5,46	31,85 ± 1,73	5,89	37,57 ± 0,67	1,77
PD	28,49 ± 1,17	4,35	31,48 ± 1,26	4,33	38,07 ± 0,49	1,27
AD	29,08 ± 1,15	4,21	30,11 ± 0,81	2,35	37,37 ± 0,62	1,66
AE	29,92 ± 1,5	5,33	33,01 ± 1,89	6,35	37,76 ± 0,83	2,20
TO	31,16 ± 0,45	1,55	33,62 ± 0,78	2,58	33,67 ± 0,69	2,05
TR	38,18 ± 0,16	0,50	39,29 ± 0,23	0,49	40,29 ± 0,18	0,44
FR	23,33 ± 1,33	6,06	32,73 ± 2,72	7,93	37,71 ± 2,14	5,66
UR	60,33 ± 0,63	1,11	55,73 ± 1,48	2,03	53,54 ± 0,35	0,64
Tar	26,27 ± 0,13	0,54	27,69 ± 0,61	1,78	28,14 ± 0,28	0,98

Tar- Temperatura do ar (°C); UR – umidade relativa (%); FR – frequência respiratória (mov. min⁻¹); TR- temperatura retal (°C); TO – temperatura do globo ocular (°C); AE – anterolateral esquerdo (°C); AD- anterolateral direito (°C); PE – posterior esquerdo (°C); PD – posterior direito (°C)

Observou-se diferenças de temperatura entre quartos saudáveis e quartos com mastite clínica estimado em 8,55 °C (Tabela 1). Comparando os quartos de animais saudáveis e animais com mastite subclínica, observa-se aumento de temperatura de 2,46

°C (Tabela 1). Os respectivos coeficientes de variação indicaram baixa variabilidade (CV < 12%) para todas as variáveis, de acordo com Warrick e Nielsen (1998). Estudos como os de Polat et al. (2010) apresentaram resultados de quartos com mastite subclínica com temperatura superficial 2,35 °C superior aos quartos saudáveis.

A temperatura do globo ocular dos animais com mastite subclínica e clínica apresentou valor superior da ordem de 7,9% e 8,0%, quando comparada a dos animais saudáveis, respectivamente. Estudos como o de Kessel et al. (2010) e Johnson et al. (2011) apontam que a temperatura do globo ocular pode ser um bom indicador da temperatura do núcleo corporal, pois, respondem às mudanças no fluxo sanguíneo e a vasodilatação periférica. A temperatura retal apresentou aumento de 2,9% (mastite subclínica) e 5,5% (mastite clínica) comparada a dos animais saudáveis. A frequência respiratória apresentou incremento de 40,29% (mastite subclínica) e 61,63% (mastite clínica) comparativamente aquela dos animais saudáveis (Tabela 1).

Com base nos resultados obtidos pela técnica dos componentes principais, os respectivos autovalores e porcentagens da variância, referente aos animais saudáveis, com mastite clínica e subclínica estão apresentados na Tabela 2. Os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) explicam 90,6 % da variação total das variáveis analisadas. Esses componentes referem-se à temperatura de superfície do úbere nos enquadramentos posterior esquerdo e posterior direito.

Com base nos resultados obtidos para os componentes principais, seus respectivos autovalores e porcentagens da variância para cada um dos 9 componentes principais, sete apresentaram variância inferior a 0,7 (autovalor inferior a 0,7). A temperatura de superfície do úbere nos enquadramentos AD e AE; as variáveis fisiológicas TO, FR e TR; e as variáveis termohigrométricas do ar, Tar e UR. Estas podem ser descartadas, de acordo com o critério de Jolliffe (1973), como sendo aquelas que apresentaram autovalores menores que 0,7.

Tabela 2. Componentes principais 1 e 2, seus respectivos autovalores, porcentagem da variância, proporção acumulada (%) pelos componentes e Coeficientes dos dois componentes principais (autovetores).

Variáveis	CP1	CP2
PE	0,33	-0,29
PD	0,33	-0,33
AD	0,31	-0,52
AE	0,33	-0,11
TO	0,29	0,57
TR	0,36	0,03
FR	0,35	0,22
UR	-0,35	-0,2
Tar	0,33	0,28
Autovalor	7,31	0,85
Proporção (%)	81,2	9,4
Prop. Acum (%)	81,2	90,6

Tar- Temperatura do ar (°C); UR – umidade relativa (%); FR – frequência respiratória (mov. min⁻¹); TR- temperatura retal (°C); TO – temperatura do globo ocular (°C); AE – anterolateral esquerdo (°C); AD- anterolateral direito (°C); PE – posterior esquerdo (°C); PD – posterior direito (°C); CP - componentes principais

Os coeficientes dos componentes principais (CP1 e CP2) para as variáveis temperatura superficial do quarto mamário e fisiológicas são apresentadas na Tabela 2.

Houve sete variáveis que apresentaram maiores coeficientes, em valor absoluto, a partir do último componente principal, estas são passíveis de descarte. A razão para isso é que variáveis altamente correlacionadas com os componentes principais de menores variâncias representam variação praticamente insignificante. As variáveis passíveis de descarte em ordem de menor importância para explicar a variação total são a TR, UR, FR, AD, AE e a Tar, respectivamente. Neste contexto, foram apresentados os componentes principais 1 e 2 por apresentarem valores maiores que 0,7 conforme critério de Jolliffe (1973).

Muniz et al. (2014) ao avaliar 7 características de crescimento em bovinos de corte tiveram 2 componentes explicando a variação total dos dados e 5 variáveis descartadas, pois o número de componentes que apresentaram autovalores menores que 0,7 foram seis, de acordo com o critério de Jolliffe (1973). Paiva, Teixeira e Yamaki (2010) ao avaliar 11 características de produção de aves de postura verificou que 3 componentes explicaram a variação total dos dados, portanto, 8 variáveis foram sugeridas para descarte.

Observa-se na Figura 2, que os animais saudáveis tiveram relação direta com a umidade relativa do ar. Os animais com mastite subclínica apresentaram relação direta com a temperatura do globo ocular, frequência respiratória, temperatura retal e

temperatura do ar. Já os animais com mastite clínica tiveram relação direta com a temperatura do úbere nos enquadramentos PE, PD, AE e AD. As condições ambientais exercem influência direta sobre o bem-estar animal e precisamente sobre a susceptibilidade a mastite, que pode ser ocasionada por patógenos contagiosos ou ambientais.

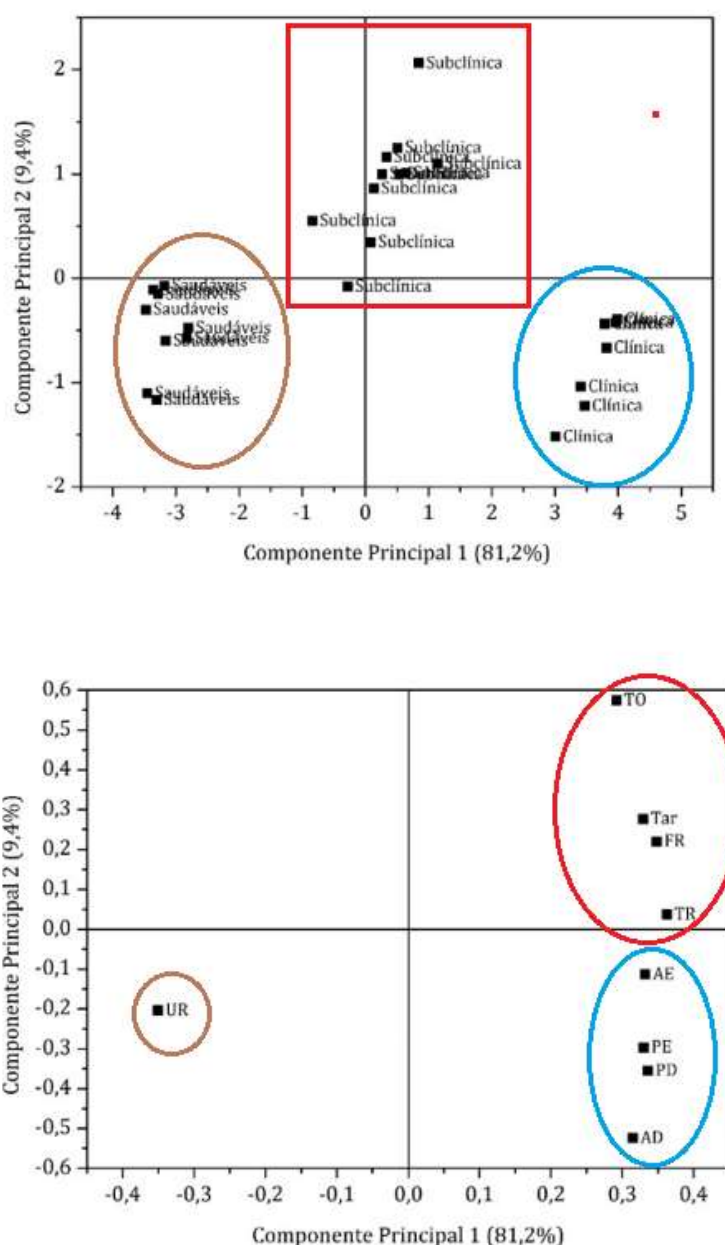


Figura 2. Componente principal 1 e 2 referentes as correlações entre as variáveis provenientes dos animais saudáveis, com mastite subclínica e clínica.

Tar- Temperatura do ar; UR – umidade relativa; FR – frequência respiratória; TR- temperatura retal; TO – temperatura ocular; AE – anterior esquerdo; AD- anterior direito; PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior direito

A temperatura do ar está correlacionada diretamente ao quadro de mastite, pois quando ocorre aumento da mesma, a tendência é haver aumento do número de patógenos existentes no ambiente de criação e consequente surgimento do quadro de mastite e posterior agravamento. Segundo Radostits, Leslie e Fetrow (1994), a temperatura e a umidade relativa do ar assumem relevância, bem como suas variações, podendo influenciar indiretamente na tríade de fatores determinantes (hospedeiro, agente e/ou meio ambiente) que afetam a susceptibilidade à mastite. A matéria orgânica acumulada, aumento de umidade e temperatura, bem como sombreamento, favorecem a multiplicação de agentes ambientais causadores de mastite (Mota, 2008).

Segundo Hansen, Soto e Natzke (2004) a mastite pode causar uma série de alterações no estado clínico do animal. Dentre eles destaca-se febre, aumento da contagem de leucócitos no sangue, maior frequência cardíaca e respiratória, além de processos inflamatórios. Para Wenz et al. (2006) a mastite está positivamente correlacionada com a contagem bacteriana no leite, a qual também é responsável por sintomas sistêmicos, como o aumento da temperatura retal, frequência cardíaca, frequência respiratória e diminuição do apetite dos animais.

Houve relação direta entre todos os quartos mamários e os animais com mastite clínica. Isso ocorre devido ao significativo aumento de temperatura entre esses quartos, quando comparado aos dos animais saudáveis.

A correlação entre as variáveis por meio do coeficiente de Pearson (Tabela 4) mostrou fortes correlações entre os quartos mamários (0,89; 0,84; 0,91; 0,75; 0,8 e 0,86). Dancey e Reidy (2006) apontam classificação do coeficiente de correlação como fraco de 0,10 a 0,30; moderado de 0,40 a 0,60; e forte de 0,70 a 1,00.

A temperatura do globo ocular apresentou correlação moderada para todos os quartos. Para temperatura retal, verifica-se forte correlação para todos os quartos (0,87; 0,88; 0,81; 0,87) e com a temperatura do globo ocular (0,8). A frequência respiratória apresentou fortes correlações para todos os quartos (0,76; 0,8; 0,7 e 0,81) bem como com a temperatura do globo ocular e temperatura retal (0,85 e 0,93). A temperatura do ar apresentou correlação forte com as variáveis FR, TR, TO, PE e PD (0,85; 0,85; 0,74; 0,75 e 0,7) e moderada com AD (0,62). A umidade relativa do ar obteve correlação negativa para todas as variáveis (Tabela 3).

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as características avaliadas

	PE	PD	AD	AE	TO	TR	FR	UR
PD	0,89							
AD	0,84	0,91						
AE	0,75	0,80	0,86					
TO	0,55	0,56	0,43	0,71				
TR	0,87	0,88	0,81	0,87	0,80			
FR	0,76	0,80	0,70	0,81	0,85	0,93		
UR	-0,80	-0,80	-0,70	-0,80	-0,78	-0,91	-0,91	
Tar	0,75	0,70	0,62	0,70	0,74	0,85	0,85	-0,97

Tar- Temperatura do ar; UR – umidade relativa; FR – frequência respiratória; TR- temperatura retal; TO – temperatura ocular; AE – anterior esquerdo; AD- anterior direito; PE – Posterior esquerdo; PD – Posterior direito

CONCLUSÕES

Os quartos representativos dos animais com mastite clínica e subclínica apresentaram temperatura de superfície do úbere 8,55 e 2,46 °C superior à dos animais saudáveis, respectivamente.

A técnica de componentes principais permitiu verificar as variáveis correlacionadas com o quadro clínico dos animais e o grau de dependência entre as variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS

- ALDRICH, John H. Correlations Genuine and Spurious in Pearson and Yule. *Statistical Science*, v.10, n.4, p.364-376, 1995.
- DANCEY, C; REIDY, J. *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*. Porto Alegre, Artmed, 2006.
- DIGIOVANI, D.B.; BORGES, M.H.F.; GALDIOLI, V.H.G.; MATIAS, B.F.; BERNARDO, G.M.; SILVA, T.R.; FÁVARO, P.C.; JÚNIOR, F.A.B.; LOPES, F.G.; JÚNIOR, C.K.; RIBEIRO, E.L.A.; Infrared thermography as diagnostic tool for bovine subclinical mastitis detection. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade animal*, v.10, n.4, p.685-692, 2016.
- FERREIRA, K.D.; FILHO, S.H.A.; BERTOLINO, J.F.; SILVA, L.A.F.; VULCANI, A.S.V. Termografia por infravermelho em medicina veterinária. *Enciclopédia Biosfera*, v.13, n.23 p. 1298, 2016.

GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.; BASHIRUDDIN, J.; PATON, D.J. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Veterinary Research*, v.7, p.1746-6148, 2011.

HANSEN P. J, P.; SOTO, R.P. NATZKE. Mastitis and fertility in cattle – possible involvement of inflammation or immune activation in pregnancy mortality. *American Journal Reproductive Immunology*, v. 51, p. 294 –301, 2004.

JOHNSON, S.R.; RAO, S.; HUSSEY, S.B.; MORLEY, P.S.; TRAUB-DARGATZ, J.L. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*, n.31, p. 63-66, 2011.

JOLLIFFE, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. II. Real data. *Applied Statistics*, v.22, p.21-31, 1973.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KESSEL, L.; JOHNSON, L.; ARVIDSSON, H.; LARSEN, M. The relationship between body and ambient temperature and corneal temperature. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, v.51, n.12, 2010.

KOZAK, M. “What is strong correlation?”. *Teaching Statistics*, n.31, p.85-86, 2009.

LANGONI, H.; SALINA, A.; OLIVEIRA, G.C.; JUNQUEIRA, N.B.; MENOZZI, B.D.; JOAQUIM, S.F. Considerações sobre o tratamento das mastites. *Pesquisa Veterinária Brasileira* v.37, n.11, p.1261-1269, 2017.

MINITAB. Programa Estatístico, versão 18 para Windows, Pennsylvania: State College, 2017. CD ROM.

MOTA, R.M. Aspectos epidemiológicos, diagnóstico e controle das mastites em caprinos e ovinos. *Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária*. v.2, n.3, p.57-61, 2008.

MUNIZ, C.A.S.; QUEIROZ, S.A.; MASCIOLI, A.S; ZADRA, L.F. Análise de componentes principais para características de crescimento em bovinos de corte. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 3, p. 1569-1576, 2014.

ORIGIN, Origin 8.6 - The Data Analysis and Graphing Workspace. OriginLab Corporation, Massachusetts, USA, 2011.

PAIVA, A.L.C.; TEIXEIRA, R.B.; YAMAKI, M.; MENEZES, G.R.O.; Leite, C. D.S.; TORRES, R.A. Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 285– 288.2010.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to system of point in space. *Philosophical Magazine*, v.2, n.6, p.550-572, 1901.

PEZESHKI, A.; STORDEUR, P.; WALLEMACQ, H.; SCHYNTS, F.; STEVENS, M.; BOUTET, P.; PEELMAN, L.J.; SPIEGELEER, B.; DUCHATEAU, L.; BUREAU, F.; BURVENICH, C. Variation of inflammatory dynamics and mediators in primiparous

cows after intramammary challenge with *Escherichia coli*. *Veterinary Research*, v.42, n.15, 2011.

POLAT, B.; COLAK, A.; CENGIZ, M.; YANMAZ, L.E.; ORAL, H.; BASTAN, A.; KAYA, S.; HAYIRLI, A. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal Dairy Science*. Source: *Journal of dairy science*. v.93, n.8 p. 3525-3532, 2010.

RADOSTITS, O.M.; LESLIE, K.E.; FETROW, J. *Herd health: food animal production medicine*. 2.ed. Philadelphia: Saunders, 1994.

REDAELLI, V.; BERGERO, D.; ZUCCA, E.; FERRUCCI, F.; NANNI, L.; CROSTA, L.; LUZI, F. Use of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications. *Journal of Equine Veterinary Science*, p.1-6, 2013.

ROBERTO J.V.B; SOUZA B.B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. *Journal of animal Behaviour and Biometeorology*, v.2, n.3, p. 73-84, 2014.

SOUZA, J.C.; PEROTTO, D.; ABRAHÃO, J.J.; FREITAS, J.A.; FERRAZ FILHO, P.B.; WEABER, R.L.; LAMBERSON, W.E. Estimativa das distâncias genéticas e componentes principais em bovinos de corte no Brasil. *Revista Archivos de Zootecnia*, v.59, n.228, p.479-485, 2010.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

VLIEGHER, S.; FOX, L.K.; PIEPERS, S.; McDOUGALL, S.; BARKEMA, H.W. Invited review: Mastitis in dairy heifers: Nature of the disease, potential impact, prevention, and control. *Journal of Dairy Science*, v.95, n.3, p.1025-1040, 2012.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. *Spatial variability of soil physical properties in the field*. New York: Academic, p.655-675, 1998.

WENZ, J.R. et al. *Escherichia coli* isolates serotypes, genotypes, and virulence genes and clinical coliform mastitis severity. *Journal of Dairy Science*, v.89, n.9, p.3408-3412, 2006.

CAPÍTULO III

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS TÉRMICAS DA MASTITE BOVINA POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS TÉRMICAS DA MASTITE BOVINA POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL

RESUMO

Esse estudo foi conduzido com o objetivo de desenvolver um *software*, baseado nas técnicas de processamento de imagens e visão computacional, como ferramenta de auxílio no monitoramento e detecção precoce de quadros clínicos de mastite bovina. Foram selecionadas 24 vacas Girolando em lactação e condições clínicas distintas (saudáveis, mastite subclínica e mastite clínica). As imagens térmicas da superfície do úbere dos animais foram obtidas a partir de um termovisor infravermelho, no enquadramento anterolateral esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior, quatro imagens por animal, totalizando 96 imagens térmicas. As imagens foram pré-processadas por limiarização, com a implementação do algoritmo Hoshen-Kopelman, para organização dos dados por meio do tamanho dos clusters, rotulados entre 34 e 38°C. O *software* desenvolvido mostrou-se eficiente em classificar imagens térmicas para a detecção de quadros clínicos de mastite, com acurácia de 90,9%, especificidade de 57,14% e sensibilidade de 85,71%, no entanto, observou-se que o ângulo em que as imagens foram registradas pode influenciar no resultado da classificação.

Palavras-chave: bovinocultura de leite, programa computacional, saúde animal, termografia infravermelho

CLASSIFICATION OF THERMAL IMAGES OF BOVINE MASTITIS BY COMPUTATIONAL VISION

ABSTRACT

This study was conducted with the objective of developing a software, based on image processing and computer vision techniques, as a tool to aid in the monitoring and early detection of clinical manifestations of bovine mastitis. Twenty-four lactating Girolando cows and distinct clinical conditions (healthy, subclinical mastitis and clinical mastitis) were selected. The thermal images of the udder surface of the animals were obtained from an infrared thermovisor, in the left anterolateral, right, posterior and inferior anterolateral framing, four images per animal, totaling 96 thermal images. The images were preprocessed by thresholding, with the implementation of the Hoshen-Kopelman algorithm, to organize the data through the size of the clusters, labeled between 34 and 38°C. The developed software proved to be efficient in classifying thermal images for the detection of mastitis clinical pictures, with accuracy of 90.9%, specificity of 57.14% and sensitivity of 85.71%, however, it was observed that the at which the images were recorded may influence the classification result.

Keywords: dairy cattle, computer program, animal health, infrared thermography

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores produtores mundiais de leite, com crescimento da produção de 31,67%, entre 2006 e 2017 (IBGE, 2017). Apesar da relevância socioeconômica da atividade, inúmeros problemas têm reduzido a eficiência produtiva do rebanho nacional, dificultando o alcance dos índices de rentabilidade com proteção a saúde humana, animal e o meio ambiente; dentre esses problemas, destaca-se a incidência de mastite, responsável por perdas produtivas, que pode inviabilizar a

exploração da atividade, causando prejuízos econômicos, depreciando a qualidade do produto final, ampliando custo com tratamentos e em alguns casos, gerando problemas de saúde pública (Langoni et al., 2017).

A mastite clínica é diagnosticada pelo quadro inflamatório mais acentuado, como edema, aumento de temperatura, endurecimento e dor na glândula mamária, aparecimento de grumos, pus ou alterações nas características no leite. Para sua detecção, realiza-se exame criterioso da glândula mamária e o teste da caneca de fundo preto. Na fase subclínica, não ocorrem mudanças visíveis no aspecto do leite ou do úbere, mas sim, uma infecção assintomática, que resulta na alteração da composição do leite, em geral detectada pelo *California Mastitis Test* (Sá, 2018).

Nesse contexto, a termografia por infravermelho (TIV) tem auxiliado no diagnóstico de quadros infecciosos que causam alteração na temperatura da superfície do corpo, no local acometido pela doença. Dentre alguns estudos de interesse zootécnico, destaca-se Digiovani et al. (2016) e Polat et al. (2010) que estudaram a termografia infravermelho como ferramenta diagnóstica para a detecção de mastite subclínica e encontraram diferenças entre temperaturas do úbere saudável e com mastite. Pezeshki et al. (2011) estudaram a variação da dinâmica inflamatória por *Escherichia coli* utilizando a termografia e verificaram sua eficiência na detecção das mudanças de temperatura de 2 a 3°C na superfície da pele do úbere. Gloster et al. (2011) e Redaelli et al. (2013) estudaram a TIV como um método de prevenção de doenças, identificando a elevação da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos.

Concomitante a obtenção da imagem térmica, a visão computacional auxilia sua interpretação por uma variedade de aspectos da análise visual, que se aproxima a capacidade de um especialista. Algumas pesquisas têm sido realizadas utilizando imagens térmicas e aprendizado de máquina no diagnóstico precoce de doenças utilizando a termografia. Dentre elas destaca-se Acharya et al. (2012) que utilizaram o classificador

support vector machine (SVM). Borchardt (2013) que desenvolveu uma metodologia para identificação e classificou as imagens através do classificador SVM e otimizou por algoritmos genéticos.

Nesse contexto, objetivou-se com essa pesquisa desenvolver um *software*, baseado nas técnicas de processamento de imagens e visão computacional, como ferramenta de auxílio no monitoramento e detecção precoce de quadros clínicos de mastite bovina.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma unidade de produção de leite, Fazenda Roçadinho, localizada no município de Capoeiras, Mesorregião Agreste, Microrregião do Vale do Ipojuca, estado de Pernambuco (latitude 8° 36' 33" S, longitude de 36° 37' 30" W e altitude de 733 m).

A precipitação pluviométrica média da região é de 588 mm por ano, com temperatura média anual de 22,1°C. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Bsh, semiárido (Vianello; Alves, 1991).

A seleção dos animais contou com vacas Girolando de mesma ordem de parto, estágio de lactação, idade, peso, escore corporal, produção, grau sanguíneo, sendo, então, monitoradas para obtenção de imagens térmicas do úbere. A quantidade de amostras foi determinada de acordo com os critérios de seleção e totalizaram 24 animais.

A condição clínica dos animais foi estabelecida pelo *California Mastitis Test* (CMT), antes da ordenha (depois do descarte dos primeiros jatos de leite), pois neste momento o teor de gordura do leite é baixo e não interfere nos resultados visuais de escore do CMT. O teste foi realizado para cada quarto mamário, em que se atribuiu escores que variaram de 0 a 5, sendo que no escore zero não ocorreu formação de precipitado (saudável); no escore 1, ocorreu leve precipitação (traço de infecção); no escore 2, moderada precipitação; no escore 3, precipitação nítida, sem formação de gel; no escore 4, nítida formação de gel; e no escore 5, acentuada formação de gel. Para limitar a

subjetividade na interpretação dos resultados foram considerados para a seleção dos animais com mastite subclínica apenas os de escore de 2 a 5.

Para a detecção dos casos de mastite clínica foi realizado o teste da caneca de fundo preto. Neste teste foi possível detectar alterações visíveis no leite (menor volume secretado, grumos, pus ou aspecto aquoso). Além disso, verificou-se nos animais a sensibilidade ao toque no úbere e tetos, pela presença do quadro inflamatório.

As imagens térmicas do úbere dos animais foram obtidas a partir de uma câmera termográfica por infravermelho, com resolução de 0,01°C, distância focal de 1,0 m e emissividade ajustada para 0,98 que é utilizada de acordo com o aplicativo Flir Quick Report. As imagens foram registradas no turno da manhã, antes da primeira ordenha dos animais, entre às 05 e 07h00, no enquadramento anterolateral esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior, quatro imagens por animal, totalizando 96 imagens térmicas para análise de seus respectivos quartos mamários (Figura 1).

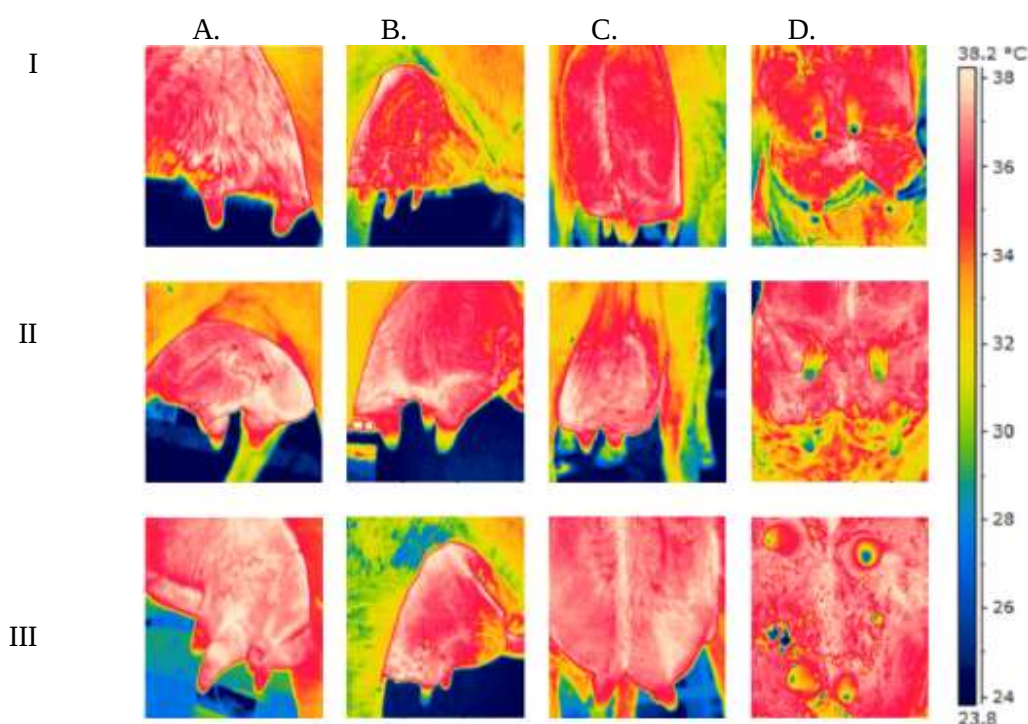


Figura 1. Imagens térmicas dos quadros clínicos (saudável - linha I; mastite subclínica - linha II; mastite clínica – linha III) nos enquadramentos anterolateral esquerdo (coluna A), anterolateral direito (coluna B), posterior (Coluna C) e inferior (Coluna D).

A análise visual das imagens térmicas foi realizada por meio do programa Flir QuickReport[®], com ajuste dos valores de emissividade, temperatura ambiente e umidade relativa do ar obtidas no momento do registro da imagem. As variáveis meteorológicas (temperatura ambiente e umidade relativa) foram registradas a partir de um *datalogger* modelo HOBO U12-12.

Após ajuste das imagens, todas foram convertidas para tons de cinza e o fundo foi removido (pré-processamento), sendo segmentadas manualmente, seguindo a metodologia de limiarização. A técnica consiste na decomposição de uma imagem digital em dois grupos de pixels, os que possuem um nível de cinza abaixo do limiar e os que possuem um nível de cinza acima do limiar (Azevedo e Conci, 2003). A divisão entre essas classes ocorreu durante o processamento, que a partir de uma imagem binária, agrupou-se os pontos do primeiro plano (objeto) com valor “1” e os demais receberam o valor “0”, definidos então como fundo. A segmentação da imagem facilitou a etapa seguinte, em que se utilizou apenas a região de interesse (ROI), superfície do úbere, com base na faixa de temperatura utilizada no procedimento, entre 34 e 38°C por ser a região mais quente das imagens.

A etapa de pré-processamento foi realizada pelo software IMAGE J, utilizado para o processamento e análise de imagens, desenvolvido por Wayne Rasband no National Institute of Mental Health, USA, em linguagem Java. Na fase de extração de características, o algoritmo desenvolvido varreu as ROIs, extraíndo informações essenciais, ou seja, localizando os clusters.

A rotulação dos clusters se deu pelo emprego do algoritmo Hoshen-Kopelman (Figura 2), que permitiu rotular clusters em uma grade pré-definida, em que cada célula pode ser rotulada como célula "ocupada" ou "desocupada". O algoritmo foi desenvolvido para ser aplicado em redes bidimensionais ou tridimensionais e, baseia-se na detecção de

clusters conectados em uma rede e na rotulagem da grade envolvida, de modo que todas as células conectadas compartilham o mesmo rótulo (Hoshen & Kopelman, 1976).

O algoritmo consiste em fazer uma varredura da grade em questão onde cada vez que uma célula ocupada é encontrada, uma verificação é feita para ver se essa célula tem células vizinhas que já foram verificadas. Assim, primeiro uma operação é executada para especificar que essas células vizinhas são de fato membros da mesma classe de equivalência. Então, a operação é executada para localizar um membro representativo dessa classe de equivalência com a qual rotular-se-á a célula atual. Por outro lado, se a célula atual não tiver vizinhos, ela receberá um novo rótulo.

A implementação do algoritmo baseou-se no princípio de organização dos dados, por meio do tamanho dos clusters onde há dois vetores, um indicando o tamanho e ponto médio de cada cluster e o outro os dados sobre pontos individuais. Também foi considerada a matriz (x,y) utilizada para ler/escrever cores na tela.

De acordo com a função implementada, primeiramente os clusters foram organizados pelo tamanho. Após esta etapa, o algoritmo percorreu todos os clusters, colorindo os mesmos de verde, após identificação do maior cluster, o destacava em azul. A escala de representação das cores utilizadas foi de 0 a 255, adotada pela conveniência de se guardar cada valor de cor em 1 byte (8 bits). Assim, verde – RGB (0;255;0) e azul – RGB (0;0;255).

Para avaliação dos resultados obtidos pelo algoritmo classificador foram utilizadas as medidas de acurácia, sensibilidade e especificidade. A acurácia determina a porcentagem de imagens corretamente classificadas (considerando-se todas as classes) Eq. (1). A sensibilidade permite o cálculo da porcentagem de casos de mastite corretamente classificados como positivos Eq. (2). A especificidade determina o percentual de casos normais (sem mastite) corretamente classificados como saudáveis Eq. (3). Todas as expressões matemáticas foram extraídas de Borchardt (2013).

$$Acurácia = \frac{VP+VN}{VP+FP+VN+FN} \quad (1)$$

$$Sensibilidade = \frac{VP}{VP+FN} \quad (2)$$

$$Especificidade = \frac{VN}{VN+FP} \quad (3)$$

Em que: VP - verdadeiro positivo, número de casos doentes classificados corretamente como casos doentes; VN - verdadeiro negativo, número de casos saudáveis classificados corretamente como casos saudáveis; FP - falso positivo, número de casos saudáveis que foram incorretamente classificados como casos doentes; FN - falso negativo, número de casos doentes incorretamente classificados como casos saudáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens foram processadas sobre um fundo branco definido pela superfície do úbere. Foi utilizada a ferramenta *Clear Outside*, do *software* Image J, para definir a região de interesse, com garantia do melhor enquadramento do úbere dos animais antes da análise. Esta ferramenta auxiliou na subtração de objetos de “não interesse” como ambiente e pernas do animal.

As amostras de imagens térmicas utilizadas para a detecção dos quadros clínicos dos animais foram submetidas ao processamento, por meio da segmentação (limiarização), para extrair características de interesse, localizada na região central da imagem (úbere) com base no intervalo de temperatura entre 34 e 38 °C, referente a região de temperatura mais elevada nas imagens.

Estudos como os de Baffa et al. (2016) e Melo et al. (2014) comprovam a eficiência do método de limiarização para a utilização de imagens térmicas, com ênfase no diagnóstico precoce do câncer e para a contagem de células somáticas no leite bovino, por meio de imagens obtidas diretamente do microscópio óptico.

Os resultados foram apresentados de modo a permitir a avaliação e a comparação da temperatura superficial do úbere dos animais através das imagens, classificadas pelo

método não supervisionado, com base no algoritmo de Hoshen-Kopelmann de identificação de clusters.

A classificação foi realizada pixel a pixel, em que se utilizou apenas a similaridade espectral de cada pixel, para localizar regiões homogêneas, identificado por níveis de cinza nas imagens. Assim, o resultado da classificação foi uma imagem digital constituída de pixels representados por cores.

A classificação digital foi identificada por meio de classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes). A imagem foi constituída por um mapa de pixels, representados pelas cores azul e amarela, ou seja, o processo de classificação digital transformou um grande número de níveis de cinza em cada banda espectral, que nesse caso foram duas bandas concatenadas, em um número de classes que variou de acordo com a intenção da pesquisa, que foi classificar os animais de acordo com os quadros clínicos (saudáveis, com mastite clínica e subclínica).

A classe indicada pela cor azul, referente ao maior cluster (região mais homogênea da imagem) apresentou média de 69.789, 86.811, 55.565 e 35.660 pixels, para as imagens dos animais saudáveis, nos enquadramentos anterolateral esquerdo (Figura 2A-II), anterolateral direito (Figura 2B-II), posterior (Figura 2C-II) e inferior (Figura 2D-II), respectivamente.

Os maiores clusters das imagens para aos animais saudáveis corresponderam a 19,38, 24,11, 15,43 e 9,9% do total de pixels das imagens nos respectivos enquadramentos, anterolateral esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior (Figura 2 A, B, C, D - II).

A.

B.

C.

D.

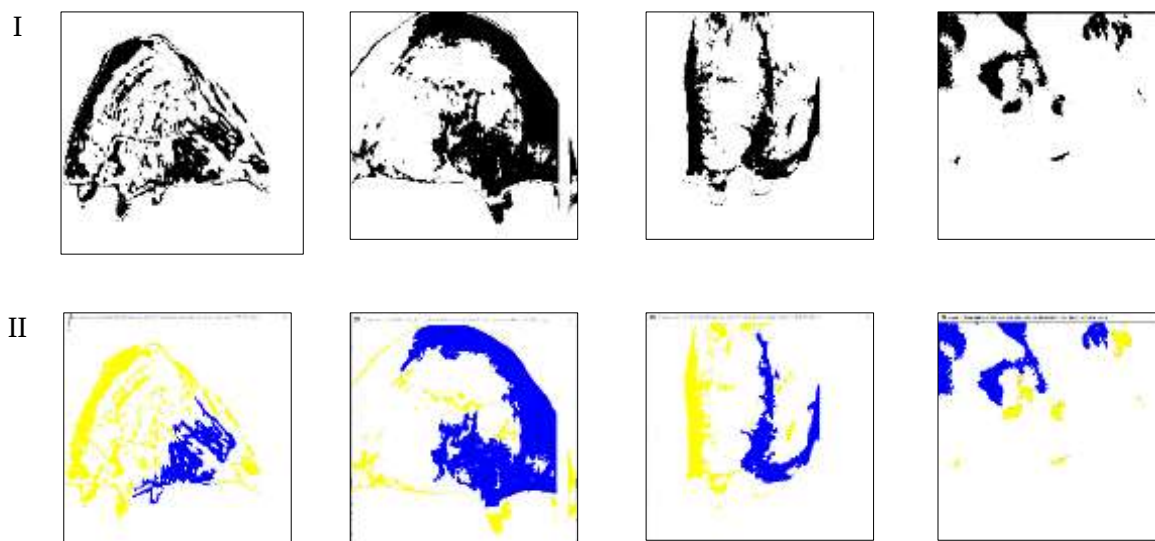


Figura 2. Imagens térmicas segmentadas (I) e classificadas (II) dos animais saudáveis nos enquadramentos anterolateral direito (A), anterolateral esquerdo (B), posterior (C) e inferior (D)

Para as imagens dos animais classificados com mastite subclínica, os valores dos clusters para a faixa de temperatura estabelecida nos enquadramentos foram 165.090 (Figura 3A-II), 140.137 (Figura 3B-II), 210.931 (Figura 3C-II) e 217.522 (Figura 3D-II). Os clusters para os animais com mastite subclínica compreenderam 38,93, 45,86, 58,59 e 60,42% do total (360.000 pixels), respectivamente (Figura 3 A, B, C, D – II).

De acordo com Polat et al. (2010) quartos com mastite subclínica tiveram temperatura superficial $2,35^{\circ}\text{C}$ superior aos quartos saudáveis. Bortolami et al. (2015) encontraram temperaturas inferiores às de Polat (2010) para mastite subclínica.

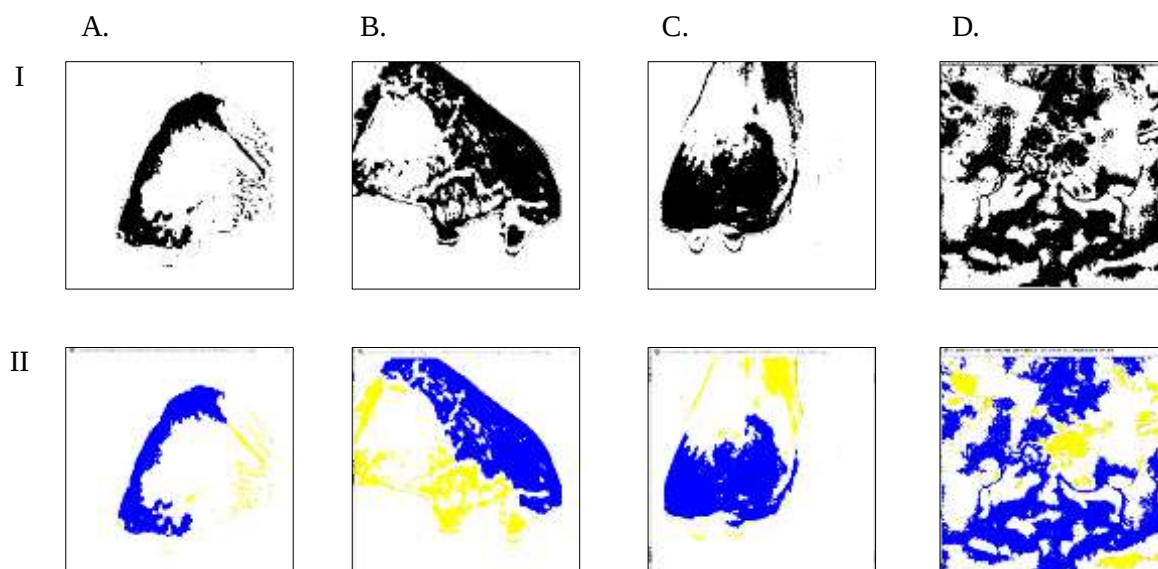


Figura 3. Imagens térmicas segmentadas (I) e classificadas (II) dos animais com mastite subclínica nos enquadramentos anterolateral direito (A), anterolateral esquerdo (B), posterior (C) e inferior (D)

As imagens dos animais com mastite clínica apresentaram média de clusters dentro do intervalo de temperatura de superfície do úbere de 251.022 (Figura 4A-II), 284.928 (Figura 4B-II), 305.148 (Figura 4C-II) e 281.025 (Figura 4D-II), nos enquadramentos, anterolateral esquerdo, anterolateral direito, posterior e inferior, respectivamente. A representação percentual dos clusters foi de 79,15; 69,73; 84,76 e 78,06%, respectivamente (Figura 4 A, B, C, D – II).

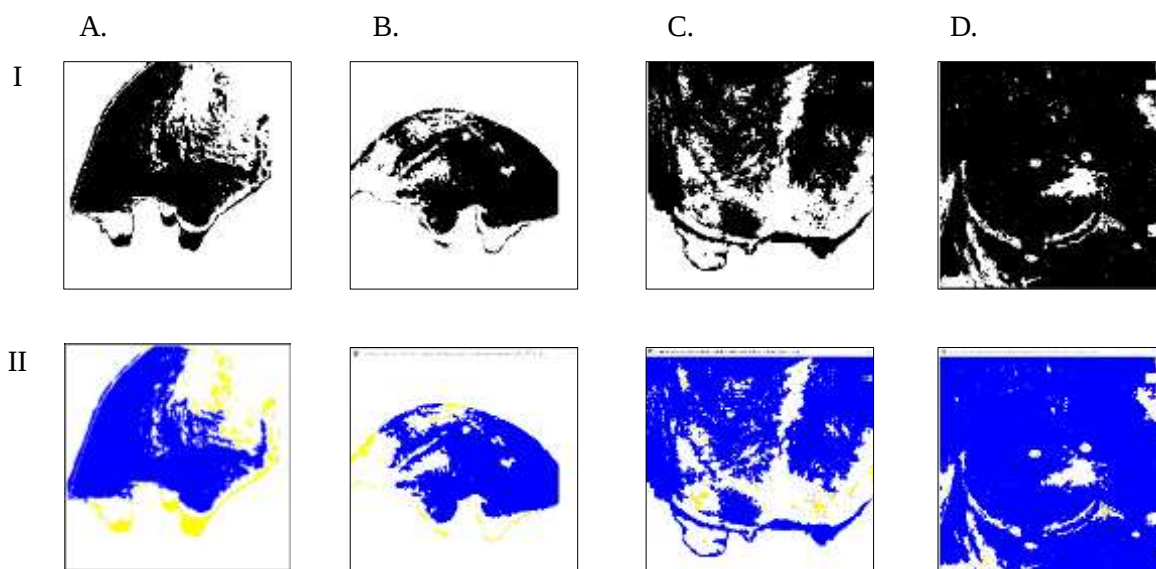


Figura 4. Imagens térmicas segmentadas (I) e classificadas (II) dos animais com mastite clínica nos enquadramentos anterolateral direito (A), anterolateral (B), posterior (C) e inferior (D)

A classificação das imagens térmicas do úbere dos animais, em seus respectivos quadros clínicos, foi alcançada pelo software de análise visual, em que se verificou acurácia de 90,9%, especificidade de 57,14% e sensibilidade de 85,71%, por meio do algoritmo Hoshen-Kopelmann. Verifica-se que as imagens térmicas obedeceram a um padrão morfológico, que permitiu determinar o perfil evolutivo da mastite. Resultados similares foram alcançados por Borchartt et al (2013) ao classificarem imagens através SVM e otimizar por algoritmos genéticos obtiveram acurácia, especificidade, e sensibilidade na classificação de suas imagens de 79,92 e 88%, respectivamente. Acharya et al (2012) ao utilizarem o classificador support vector machine (SVM) encontraram acurácia de 88,10%, sensibilidade de 85,71% e especificidade de 90,48%.

As imagens térmicas do úbere dos animais com mastite foram mais homogêneas, ou seja, apresentam maior ocorrência das temperaturas na faixa de 34 a 38°C, estabelecida no pré-processamento. Aqueles classificados com mastite subclínica apresentaram condição intermediária. Os animais classificados como saudáveis apresentam menor ocorrência dessas temperaturas.

Um fator que causou interferência no processo de classificação, mas não foi decisivo, observou-se no momento da aplicação da metodologia, em que as imagens não obedeceram mesmo ângulo durante a sua captura. Isso foi ocasionado pela disposição dos animais na sala de ordenha e do termovisor, que não era fixo, tratava-se de equipamento manual e dependia do posicionamento do operador.

CONCLUSÕES

O programa computacional foi capaz de classificar imagens térmicas da superfície do úbere, associada aos quadros clínicos de mastite bovina, contribuindo para a detecção precoce da doença.

O ângulo em que as imagens foram registradas pode influenciar no resultado da classificação da imagem, pela subtração de alguns pixels da região de interesse.

REFERÊNCIAS

ACHARYA, U. R; NG, E.Y.; TAN, J.H.; SREE, S.V. Thermography based breast cancer detection using texture features and support vector machine. *Journal of medical systems*, Springer, v. 36, n. 3, p. 1503–1510, 2012.

AZEVEDO, E.; CONCI, A. Computação gráfica: teoria e prática. *Computação gráfica: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 353p.

BAFFA, M.F.O.; CHELONI, D.J.M.; LATTARI, L.G.; COELHO, M.A.N. Segmentação Automática de Mamas em Imagens infravermelhas utilizando limiarização com refinamento adaptativo em bases multivariadas. *Revista de Informática Aplicada*, v. 12, n.2, 2016.

BORCHARTT, T. B. et al. Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey. *Signal Processing*, Elsevier, v. 93, n. 10, p. 2785–2803, 2013.

BORTOLAMI, A.; FIORE, E; GIANESELLA, M.; CORRO, M.; CATANIA, S.; MORGANTE, M. Evaluation of the udder health status in subclinical mastitis affected dairy cows through bacteriological culture, somatic cell count and thermographic imaging. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, v. 18, n. 4, p. 799-805, 2015.

DIGIOVANI, D.B.; BORGES, M.H.F.; GALDIOLI, V.H.G.; MATIAS, B.F.; BERNARDO, G.M.; SILVA, T.R.; FÁVARO, P.C.; JÚNIOR, F.A.B.; LOPES, F.G.; JÚNIOR, C.K.; RIBEIRO, E.L.A.; Infrared thermography as diagnostic tool for bovine subclinical mastitis detection. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade animal*, v.10, n.4, p.685-692, 2016.

GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.; BASHIRUDDIN, J.; PATON, D.J. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. BMC Veterinary Research, v.7, p.1746-6148, 2011.

HOSHEN, J.; KOPELMAN, R. Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm. Physical Review B. Volume 14, Number 8, 1976.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf Acesso em 06/11/2017.

LANGONI, H.; SALINA, A.; OLIVEIRA, G.C.; JUNQUEIRA, N.B.; MENOZZI, B.D.; JOAQUIM, S.F. Considerações sobre o tratamento das mastites. Pesquisa Veterinária Brasileira v.37, n.11, p.1261-1269, 2017.

MELO, G.J.A.; NETO, B.A.M.; GOMES, V.; ALMEIDA, L.A.L.; LIMA, A.C.C. Método de limiarização automática para a contagem de células somáticas em imagens microscópicas. Revista GEINTEC. v. 4, n.3, p.1283 -1291, 2014.

PEZESHKI, A.; STORDEUR, P.; WALLEMACQ, H.; SCHYNTS, F.; STEVENS, M.; BOUTET, P.; PEELMAN, L.J.; SPIEGELEER, B.; DUCHATEAU, L.; BUREAU, F.; BURVENICH, C. Variation of inflammatory dynamics and mediators in primiparous cows after intramammary challenge with *Escherichia coli*. Veterinary Research, v.42, n.15, 2011.

POLAT, B.; COLAK, A.; CENGİZ, M.; YANMAZ, L.E.; ORAL, H.; BASTAN, A.; KAYA, S.; HAYIRLI, A. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. Journal Dairy Science. Source: Journal of dairy science. v.93, n.8 p. 3525-3532, 2010.

RASBAND, W. Image J documentation. Disponível em: < <https://imagej.nih.gov/ij/docs/index.html> > Acesso em 25/03/2019.

REDAELLI, V.; BERGERO, D.; ZUCCA, E.; FERRUCCI, F.; NANNI, L.; CROSTA, L.; LUZI, F. Use of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications. Journal of Equine Veterinary Science, p.1-6, 2013.

SÁ, J.P.N.; FIQUEIREDO, C.H.A.; NETO, O.L.S.; ROBERTO, S.B.A.; GADELHA, H.S.; ALENCAR, M.C.B. Revista Brasileira de Gestão Ambiental. v. 12, n.1, p.01- 13, 2018.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados indicaram que a termografia por infravermelho pode ser utilizada como ferramenta de diagnóstico para o quadro clínico de mastite bovina, atuando com segurança no controle das variações de temperatura do úbere.

O uso da geoestatística possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades de temperatura no úbere dos animais e permitiu identificar padrões relacionados aos quadros clínicos dos animais saudáveis, com mastite subclínica e clínica.

O software de classificação das imagens térmicas do úbere dos animais, permitiu a detecção precoce da mastite subclínica e pode ser empregado como ferramenta de auxílio no manejo sanitário do rebanho, com ênfase na redução de perdas produtivas e segurança na qualidade final do produto.

As limitações observadas podem ser corrigidas por meio de uma base estacionária para a câmera termográfica, para obtenção de imagens de melhor enquadramento e minimização da angulação no momento do registro das imagens.

Pretende-se o aprimoramento da fase de registro de imagens e ampliação do banco de dados, de forma que isso permita a continuidade do estudo e o desenvolvimento de nova versão do software e desenvolvimento de aplicativo de classificação automática.