

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE CALOR E DE METANO ENTÉRICO
ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA – POTENCIAL DE USO
EM VACAS HOLANDÊS E GIROLANDO F1**

ANNE ROSI GUADAGNIN

MÉDICA VETERINÁRIA - UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de
Mestre em Zootecnia
Área de concentração em Produção Animal

Porto Alegre, RS
Março, 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Guadagnin, Anne Rosi

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE CALOR E DE METANO
ENTÉRICO ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA –
POTENCIAL DE USO EM VACAS HOLANDÊS E GIROLANDO F1 /
Anne Rosi Guadagnin. -- 2018.

75 f.

Orientador: Vivian Fischer.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Termografia Infravermelha. 2. Vacas leiteiras.
3. Produção de metano. I. Fischer, Vivian, orient.
II. Título.

Anne Rosi Guadagnin
Médica Veterinária

DISSERTAÇÃO

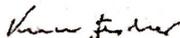
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM ZOOTECNIA

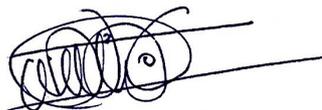
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 23.03.2018
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 02/05/2018
Por



VIVIAN FISCHER
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador



DANILO PEDRO STREIT JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



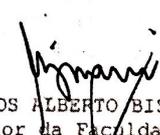
Marcelo Tempel Stumpf
FURG



João Batista Gonçalves Costa Junior
FCPM



Gilberto Rozłowski
UFSM



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

“It will be for the better if he can control, not only nuclear reactions but also his own greed and stupidity, so that wisdom directs his tremendous increase in power.”
Max Kleiber

“To all the little girls [...], never doubt that you are valuable and powerful and deserving of every chance and opportunity in the world to pursue and achieve your own dreams.”
Hillary Clinton

*To Alexandra Elbakyan,
for removing all barriers in the way of Science.*

AGRADECIMENTOS

Escrevo isto no dia 08 de março, dia em que lembramos a luta das mulheres no mundo por condições dignas de trabalho, igualdade de direitos e justiça. Por isso, quero aproveitar para registrar minha gratidão pelas mulheres que fizeram e fazem parte da minha vida pessoal e acadêmica. Agradeço à minha mãe Ana Maria, em especial, que é a mulher mais forte, porém com o coração mais doce que conheço; sempre foste um exemplo de dedicação e luta, e eu sei que abdicaste de muitos sonhos próprios em prol dos teus filhos. Tens minha eterna gratidão e amor! Quero um dia ser metade da mulher que és. À minha irmã, Ananda, que é meu porto seguro e onde sempre encontro conforto! És um exemplo de determinação. Quero que tu nunca esqueças do quanto tu és capaz e do quanto nós te amamos! À minha melhor amiga, Luana C., eu nem tenho palavras para te agradecer. Tu me apresentaste à esta ideia de que nós precisamos nos unir, que precisamos nos apoiar, nos defendermos, nos abraçarmos e que precisamos lutar. E agora eu não sei viver de outro jeito! Te amo! À minha sogra, Maria Antônia, esse ser iluminado que, eu juro, deve ser um anjo. Tu tens uma força admirável e o mais admirável ainda é que lutas sorrindo! Obrigada por me acolher. À minha orientadora, Vivian Fischer, meu muito obrigada por me mostrar que a gente pode, sim, ter sucesso em uma carreira antes patriarcal. És um exemplo de profissional, ética, correta e muito competente. Te admiro! Tens uma amiga em mim. Enfim, tive e sei que vou continuar tendo referências fortes de mulheres também fortes na minha vida. Quero continuar aprendendo com vocês! Ana Maria Colognese G., Ananda Guadagnin, Luana Casagrande, Maria Antônia Castro F., Vivian Fischer, Juliana Maciel, Marina Thomaz, Tari Christ, Lívia Nicola, Stephanie Stella, Inéz Rivali, Jéssica Mezzomo, Thais Zotti, Carol Favini, Angélica Dias, Lurdes Meneghetti, Lorena Passos, Aline Ramos, Larisse Souza, obrigada!

Agradeço também ao meu pai Valmor José, por todo o amor, apoio e carinho durante a vida! Ao meu irmão, Valmor, por ser meu melhor amigo em todas as horas e, mesmo distante, se esforçar para estar presente em todas as minhas conquistas. É fundamental ter vocês em minha vida! Amo vocês!

Agradeço ao meu amor, Augusto Fróis, por ser meu maior incentivador, por acreditar em mim e no meu potencial quando nem eu mesma acredito. Pela paciência quando preciso, pelas vibrações nas pequenas vitórias e pelo amor sempre! Te amo muito!

Ao meu sogro, Valtair Fróis, por ter me acolhido em sua família e pelas palavras de carinho e apoio ao longo do Mestrado. Ao amigo Mateus Pivato, pela amizade que enriquece e impulsiona. Aos cunhados e amigos Diego Fróis e Télió Fróis, pelo apoio e amizade.

Aos colegas e amigos João Pedro, Fernando, Guilherme H., Luciano, Iorrano, Ricardo, Rafael, Guilherme S., pela ajuda na execução do projeto e pela companhia durante o Mestrado;

À UFRGS, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pelo ensino gratuito e de qualidade; ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos de Mestrado; à EMBRAPA Gado de Leite e seus funcionários; ao Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, incansável no auxílio ao meu projeto e aos membros do grupo Nuplac: muito obrigada!

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE CALOR E DE METANO ENTÉRICO ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA – POTENCIAL DE USO EM VACAS HOLANDÊ E GIROLANDO F1¹

Autora: Anne Rosi Guadagnin

Orientadora: Vivian Fischer

Resumo: O desenvolvimento de tecnologias alternativas para facilitar a mensuração da produção de calor e de metano em animais é necessário e deve trazer efeitos positivos para a indústria de produção animal. O objetivo do presente trabalho foi correlacionar a temperatura em pontos anatômicos mensurados através de termografia infravermelha com a produção de calor e a emissão de metano em vacas Holandês e mestiças Holandês x Gir. Seis vacas mestiças Holandês e Gir e quatro vacas Holandês no período médio da lactação, primíparas, foram avaliadas quanto à produção de calor e à emissão de metano diárias, por calorimetria indireta, em câmaras respirométricas. A termografia foi feita nas regiões do ânus, da vulva, da costela (no lado direito), do flanco direito, do flanco esquerdo, da pata dianteira direita, do lábio superior, do masseter e do olho. As imagens termográficas foram tomadas nesses nove pontos anatômicos anteriormente citados, a cada hora, por oito horas após a alimentação da manhã, durante cinco dias. Durante todo o experimento, as vacas receberam a mesma dieta *ad libitum* e a produção de leite e o consumo foram registrados diariamente. O estudo compreendeu 40 dias, incluindo os dias de adaptação dos animais às câmaras respirométricas. A produção diária de metano foi associada com a termografia infravermelha do olho na hora 6 após a alimentação em vacas mestiças Holandês x Gir ($r=0,85$, $p<0,05$) e com a termografia infravermelha do olho feita na hora 5 em vacas Holandês ($r=0,88$, $p<0,05$). Além disso, a produção de calor foi correlacionada com a termografia infravermelha da pata dianteira direita uma hora após a alimentação em vacas Girolando F1 ($r=0,85$, $p<0,05$), com a termografia infravermelha do olho cinco horas após a alimentação em vacas Holandês ($r=0,90$, $p<0,05$). Esses resultados foram posteriormente confirmados usando análise de regressão. As correlações das imagens termográficas com a produção de calor e emissão de metano foram similares entre as vacas Holandês e as vacas Girolando F1. A termografia infravermelha é efetiva na avaliação da produção de calor e da emissão de metano de vacas em lactação Holandês e Girolando F1, embora realizadas em pontos anatômicos diferentes.

Palavras-chave: emissão de metano, produção de calor, vacas de leite.

¹ Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. (75 p.), março, 2018.

ASSESSMENT OF HEAT AND METHANE PRODUCTION THROUGH INFRARED THERMOGRAPHY – POTENTIAL USE IN HOLSTEIN AND CROSSBRED HOLSTEIN AND GIR COWS²

Author: Anne Rosi Guadagnin
Adviser: Vivian Fischer

Abstract: The development of alternative technologies that more easily assess heat and methane production of livestock animals are needed and would have positive effects on the livestock industry. The aim of this study was to correlate skin temperature assessed through infrared thermography with heat and methane production in lactating Holstein and Holstein x Gir crossbred cows. Six Holstein and Gir crossbred and four Holstein cows, all primiparous, at midlactation were used to evaluate daily heat production and methane emissions through indirect calorimetry in respiratory chambers. Thermographic images were taken at nine different body locations every hour during eight hours after feeding for five days. Thermographic images were taken at the following regions: anus, vulva, ribs (on the right side), left flank, right flank, right front foot, upper lip, masseter and eye. During the whole trial cows received the same diet *ad libitum*, milk yield and feed intake were daily recorded. Data collection lasted 40 days, including adaptation of the animals to the respiratory chambers. Daily methane emission was correlated with infrared thermography taken at the eye six hours after feeding in Holstein x Gir crossbred cows ($r=0.85$, $p<0.05$) and with infrared thermography taken at the eye five hours after feeding in Holstein cows ($r=0.88$, $p<0.05$). Also, heat production was correlated with infrared thermography taken at the right front foot one hour after feeding in Holstein x Gir crossbred cows ($r=0.85$, $p<0.05$) and with infrared thermography taken at the eye five hours after feeding in Holstein cows ($r=0.90$, $p<0.05$). These results were further confirmed using regression analysis. Correlations between infrared thermography and heat production or methane emissions are similar for Holstein and Holstein x Gir crossbred. Infrared thermography is effective in assess heat production and methane emission in Holstein and Holstein x Gir crossbred lactation cows albeit taken in different anatomical points.

Key-words: dairy cows, feed efficiency, heat production, methane emission.

² Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (75 p.), March, 2018.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	25
CAPÍTULO II	26
ASSESSMENT OF HEAT AND METHANE PRODUCTION THROUGH INFRARED THERMOGRAPHY IN LACTATING HOLSTEIN AND HOLSTEIN X GIR CROSSBREED COWS	26
CAPÍTULO III	61
1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
2 REFERÊNCIAS.....	64
3 APÊNDICES	72
VITA.....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Ingredientes e composição química da dieta oferecido aos animais durante todo o período experimental.	48
TABELA 2. Frequência respiratória, frequência cardíaca, temperature retal, consume de matéria seca, produção de leite, produção de calor e produção de metano em vacas Girolando F1 (GH) e em vacas Holandês (H) (200±15.5 dias em lactação).	49
TABELA 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre a temperatura ambiente e as temperaturas de diferentes pontos anatômicos mensuradas através de termografia infravermelha de vacas leiteiras Holandês e Girolando F1.....	50
TABELA 4. Temperatura de diferentes pontos anatômicos (°C) de vacas Girolando F1 e Holandês mensuradas através da termografia infravermelha.....	51
TABELA 5. Correlações de Pearson entre as variáveis termográficas avaliadas em distintos pontos anatômicos e a produção de calor e de metano diárias de vacas Holandês (H) e Girolando F1 (GH).	52
TABELA 6. Correlações de Pearson entre as termografias de diferentes pontos anatômicos e a produção de calor e metano diárias, para vacas Girolando F1...	53
TABELA 7. Equações de estimação da produção de calor e emissão de metano diárias (e suas razões) através da temperatura de determinados pontos anatômicos em determinadas horas após a alimentação, obtida por termografia infravermelha.	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – (Revisão Bibliográfica). Relações entre a termodinâmica das reações e a pressão parcial de hidrogênio, para bactérias produtoras de hidrogênio (oxidação de propionato e butirato) e para as bactérias que utilizam hidrogênio (acetogênicas, metanogênicas e redutoras de enxofre), onde a linha vertical representa a pressão parcial de hidrogênio mínima tolerada pelas metanogênicas (esquerda) e para a oxidação de propionato/butirato (direita).....22

FIGURA 1. Desenho esquemático de cada período experimental e fase de coleta de dados (dias, d, 15 a 21). Cada vaca foi submetida duas vezes a um dia na câmara respirométrica seguida de um dia de tomada de imagens termográficas. Dietas similares foram ofertadas durante todo o período, incluindo na fase de adaptação. A temperatura ambiental e a umidade relativa do ar foram registradas diariamente. TMR = total mixed ration (ração totalmente misturada); IFT = infrared thermography (termografia infravermelha)45

FIGURA 2. Fotos das imagens termográficas de A) pata anterior direita, B) olho, C) lábio superior, D) masseter, E) vulva e anus, F) flanco esquerdo, G) flanco direito e H) costela direita. Note que a figura para alcançar uma área constante de avaliação é desenhada nestas fotos.46

FIGURA 3. Comparação da produção de calor (PC) e de metano (CH₄) entre as vacas Girolando F1 (GH) e Holandês (H), durante as horas do experimento.....46

FIGURA 4. Gráficos de regressão linear simples. A = Temperatura da costela na hora 6 e produção de metano em vacas Girolando F1 (GH); B = Temperatura do olho na hora 6 e produção de metano em vacas Holandês (H); C = Temperatura

da pata na hora 1 e produção de calor em vacas GH; D = Temperatura do olho
na hora 5 e produção de calor em vacas H.47

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

FAO	– <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
CO ₂	– dióxido de carbono
O ₂	– oxigênio
H ²	– hidrogênio
CH ₄	– metano
EB	– energia bruta
ED	– energia digestível
EM	– energia metabolizável
EM _V	– energia metabolizável verdadeira
EU _E	– energia urinária endógena
NRC	– <i>National Research Council</i>
PC	– produção de calor
ER	– energia retida
IPCC	– Intergovernmental Panel on Climate Change
NADH	– dinucleotídeo de nicotinamida e adenina em sua forma reduzida
NAD ⁺	– dinucleotídeo de nicotinamida e adenina em sua forma oxidada
MJ	– mega joule
Kg	– quilograma
Kcal	– quilocaloria
MS	– matéria seca

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A produção de calor, também chamada de gasto energético, é uma medida importante para compreender desde o metabolismo energético de um ruminante, até para definir estratégias nutricionais que melhorem a eficiência alimentar. A produção de metano, em ruminantes, se encaixa nessa lógica pois corresponde a uma perda energética para o animal, além de sua importância muito discutida em questões ambientais. As suas mensurações em ruminantes, especialmente bovinos, porém, apresentam alguns entraves no que concerne a sua aplicação em larga escala ou mesmo, por questões financeiras, podem ser consideradas inviáveis em muitos sistemas de produção. Entretanto, questiono: pode haver um meio de tornar as mensurações de produção de calor e de metano em ruminantes menos onerosas e mais acessíveis?

Atualmente, as técnicas para avaliar a produção de calor e de metano em ruminantes apresentam restrições operacionais e de custo que inviabilizam a sua aplicação em larga escala, pois os métodos utilizados para suas determinações (como a câmaras respirométrica, por exemplo, que é considerada a técnica padrão ouro) são de difícil acesso ou demandam investimento financeiro excessivamente alto para instalação e manejo. Outro gargalo, especificamente para as câmaras respirométricas, é a inflexibilidade do método, que exige um local específico para instalação e a necessidade de permanência do animal nas câmaras por pelo menos 24 a 48 horas. Em pesquisa, seu uso é completamente justificável e, inclusive, necessário para a acurácia das informações, visto se tratar de uma técnica padrão para mensuração de trocas respiratórias. Porém, as câmaras respirométricas se tornam de certo modo inviáveis para aplicação em rebanhos comerciais, ainda mais com o crescente aumento no tamanho dos rebanhos no globo.

Neste caso, as técnicas que permitam o monitoramento remoto de rebanhos ganham destaque, pois podem proporcionar coleta de dados de forma não-invasiva e sem a necessidade de contato físico com o animal. Além disso, em muitos casos essas informações podem ser transmitidas em tempo real e esses dados podem gerar informações sobre o estado biológico dos animais (por exemplo, atividade, comportamento, ruminação ou outros aspectos). A termografia infravermelha pode ser aplicada como uma metodologia de monitoramento remoto e consiste de uma técnica cujo uso já é consolidado em áreas como as engenharias, principalmente de construção e de materiais. Mas a termografia infravermelha também têm despertado interesse por parte das ciências veterinárias e zootécnicas, através do seu uso para mensurações fisiológicas e reprodutivos, ou mesmo para diagnóstico precoce de doenças. Em virtude de a termografia ser capaz de captar algumas formas de dissipação de calor em ruminantes e de este, juntamente com a produção de metano e outros fatores, ser um dos processos envolvidos com o gasto energético, a termografia infravermelha tem potencial para se tornar uma tecnologia de monitoramento remoto da produção de calor e de metano em bovinos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O referencial teórico deste trabalho está dividido em três partes. A primeira aborda os aspectos envolvidos com a produção e a dissipação de calor metabólico nos ruminantes, assim como os métodos de mensuração da produção de calor total. A segunda explora a emissão de metano por ruminantes, sua produção através da fermentação microbiana e principais fatores de influência, analisando também os meios de mensuração da emissão de metano em ruminantes. Por fim, a terceira parte discorre sobre a termografia infravermelha, que é o ponto chave deste trabalho. São analisados seu funcionamento, principais aplicações no âmbito da veterinária e zootecnia e a relação com a produção de calor e de metano.

2.1 Produção de calor em ruminantes

Joseph Black descobriu o dióxido de carbono (CO_2) em 1754 (Fenby, 1987), e também o seu papel na respiração. Joseph Priestley, teologista e químico autodidata, isolou oxigênio (O_2) do ar em 1774. Nessa época, a “Teoria de Phlogiston”³ estava em voga, então ele inferiu que sua descoberta era “ar dephlogisticado”, em vez de oxigênio (Mendelsohn, 1964). Mais tarde, Antoine Lavoisier desenvolveu uma nova teoria, a Teoria da Respiração, na qual o oxigênio inspirado nos pulmões interage com o carbono do sangue para produzir CO_2 , liberando calor diretamente a partir do O_2 . Durante 1783, Lavoisier e LaPlace conduziram experimentos para provar que a respiração geraria o calor no organismo (Holmes, 1985). Posteriormente, Black contribuiu com descobertas que seriam incorporadas à primeira calorimetria direta (Mendelsohn, 1964; Holmes, 1985). Uma vez desenvolvida, a calorimetria foi primeiramente aplicada aos animais em 1788, por Crawford (Kleiber, 1975).

Os achados citados anteriormente foram fundamentais para a consolidação dos conceitos de bioenergética. A bioenergética, por sua vez, traz a base para este presente trabalho. Parafraseando Even (2014), a partir do livro *Energy Metabolism*,

“A vida é sustentada pela extração de energia dos nutrientes. O mecanismo é a oxidação da energia dos macronutrientes contidos no alimento: carboidratos, lipídeos e proteínas. Isso resulta nas taxas de consumo de oxigênio e liberação de dióxido de carbono muito proporcionais à energia contida nos nutrientes. Então, de fato, medir as trocas respiratórias é medir a própria vida”.

As trocas respiratórias são importantes para a mensuração da produção de calor em animais, por meio de calorimetria indireta com uso de câmaras

³ A Teoria de Phlogiston postulou que um elemento similar ao fogo, chamado *phlogiston*, está presente no interior de corpos combustíveis e é liberado durante a combustão.

respirométricas, por exemplo, além de poderem ser utilizadas para mensuração da produção de metano.

A produção de calor pode ser definida como uma mensuração da soma total das transformações energéticas que acontecem em um animal, em determinada unidade de tempo (Yousef, 1985). É controlada diretamente pelo sistema nervoso (Hammel, 1968) e pelo sistema endócrino; e indiretamente por alterações na atividade de enzimas respiratórias e na síntese proteica (Yousef, 1985). A temperatura ambiente também afeta de maneira significativa a produção de calor, pois exerce influência no consumo alimentar, na produção e na termorregulação do animal (Brody, 1945).

A energia bruta (EB) de um alimento é a energia liberada como calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a CO_2 e água (Kleiber, 1972). Quando ingerida, parte dessa energia sob forma de alimento será digerida e parte será eliminada nas fezes. Uma parcela da energia digestível (ED) é perdida como energia gasosa, notadamente metano produzido durante a fermentação ruminal e energia urinária. A energia restante é denominada metabolizável (EM), mas cerca de um terço da EM é perdido na forma de incremento calórico, associado ao trabalho de fermentação, digestão e metabolismo de nutrientes. O restante é conhecido como energia líquida (EL) e representa a energia química presente no leite e nos tecidos corporais gerados (McDonald, 2011). A energia metabolizável verdadeira (EM_V) é a energia realmente disponível para o metabolismo, a qual é obtida pela contabilização da perda de energia urinária endógena (EU_E) de origem não alimentar (NRC, 1981).

A produção total de calor de um animal compreende, portanto, a energia líquida usada para manutenção e para produção (de leite, carne, lã ou ovos; dependendo do animal), além da energia perdida sob forma de metano ou no incremento calórico e, também, excretada na urina e nas fezes (Kadzere et al., 2012). A soma de energia recuperada representa o “balanço energético”. Esta subdivisão exige a medição da PC ou energia retida (ER). Os fatores que aumentam a produção de calor são atividade muscular como exercícios, calafrios, tensão dos músculos (imperceptível); aumento químico da taxa metabólica, incremento calórico e doenças que cursem com febre. Já os fatores que diminuem a produção de calor e/ou aumentam a sua perda incluem mudanças internas na distribuição sanguínea (resultante em vasodilatação periférica), diminuição na condutância dos tecidos e redução na troca de calor em contra-corrente (Kleiber, 1972; McDonald, 2011).

Por convenção, a exigência de energia líquida para manutenção tem sido utilizada como sinônimo do metabolismo basal (Webster, 1978; NRC, 1981). Raças europeias têm maior exigência de energia para manutenção que raças indianas/zebuínas, por possuírem maior proporção de gordura nos depósitos viscerais, que são metabolicamente mais ativos que os depósitos periféricos (Thompson et al., 1983). Branton et al. (1966) sugeriram que a raça Red Sindi (zebuína) apresenta menor taxa metabólica que as raças europeias de bovinos de leite, porém, esse valor pode aumentar conforme aumenta o consumo alimentar (Yeates, 1956). Ainda, (Berman, 1973) atribuiu aos animais taurinos uma maior produção de calor em relação aos animais zebuínos, devido a esses últimos terem menor produção de leite. Sabe-se, contudo, que, mesmo dentro

de uma mesma raça, há diferenças no metabolismo energético (Bohmanova et al., 2005).

A temperatura interna do organismo é considerada como o resultado do balanço entre a entrada ou produção de calor (taxa metabólica) e a saída de calor. Um aumento na armazenagem total de calor corporal irá se refletir em aumento da temperatura corporal e vice-versa (Collier e Gebremedhin, 2015).. Apesar de temperatura e calor terem conceitos distintos, eles estão relacionados entre si e são usualmente utilizados para explicar eventos comportamentais e fisiológicos relacionados à termorregulação animal. Os animais têm neurossensores específicos tanto na superfície quando no interior do organismo que detectam a temperatura, mas não o calor (Boulant, 2001). Além disso, a temperatura é importante também para a termorregulação, pois determina a direção do fluxo de calor e é um indicador da intensidade calórica em um sistema (Collier e Collier, 2012).

Os processos vitais dos animais homeotérmicos estão adaptados para ótimo funcionamento nas suas respectivas zonas de conforto térmico. Mudanças nas condições ambientais, como em casos de estresse térmico por calor ou por frio, tendem a refletir no balanço metabólico normal do organismo. Nessas condições, a capacidade do animal de suportar seu ambiente é proporcional à sua capacidade de dissipar o calor por meios evaporativos, como aumento da evaporação de calor pela pele por sudorese (Finch et al., 1986; Campos Maia et al., 2005) e também por aumento na taxa de ofegação (Stevens, 1981; Campos Maia et al., 2005).

2.1.1 Dissipação de calor em ruminantes

Os ruminantes, assim como todos os animais, perdem calor na forma de calor sensível ou calor latente (evaporativo). A perda de calor sensível ocorre por condução, convecção ou radiação e é dependente do gradiente de temperatura entre o animal e o ambiente. A perda de calor latente ocorre principalmente por meios evaporativos, como a ofegação e a sudorese (Collier e Gebremedhin, 2015). No presente trabalho, a perda de calor por radiação é particularmente importante, pois é a forma de energia possível de ser captada por termografia infravermelha (Garnsworth et al, 2012). A energia perdida na forma de calor resulta de diversas funções do organismo, como visto anteriormente, incluindo o metabolismo basal, atividade, formação de produto, termorregulação e formação e excreção de resíduos. A digestão fermentativa, no rúmen e ao longo do trato intestinal, incorre em perdas de energia também na forma de metano. No geral, as perdas de energia na urina e sob forma de metano são maiores em ruminantes que em outros animais, em função da maior atividade microbiana (McDonald et al., 2011).

Em baixa temperatura ambiente, a energia térmica é perdida principalmente como calor sensível, devido à grande diferença de temperatura entre o ambiente e a superfície corporal (McLean, 1963). Em condições de temperatura ambiente alta, o organismo recebe calor por convecção (Gebremedhin e Wu, 2001), por radiação solar em situações de exposição direta (Curtis, 1981), além da produção de calor proveniente dos processos

metabólicos (energia líquida de manutenção e incremento calórico). Os meios não- evaporativos de perda de calor diminuem com o aumento da temperatura ambiente, tornando os bovinos mais dependentes da vasodilatação periférica e da evaporação da água para prevenção do aumento da temperatura corporal (Berman et al., 1985). Essas diferentes formas de perda de calor são meios que o animal dispõe para manter uma estabilidade térmica em ambientes não termoneutros (Collier e Collier, 2012).

Tanto o animal quanto o ambiente têm grande importância nessa dinâmica troca de calor para manutenção da homeostase térmica animal (Kleiber, 1975). Os fatores ambientais primariamente responsáveis pelo fluxo de energia do ambiente para o animal são: temperatura do ar, radiação solar e infravermelha, velocidade do vento e umidade (Gebremedhin, 2012). Por parte do animal, as estruturas geométricas do pelame, como densidade, diâmetro, espessura e coloração (da pele também) influenciam nesse fluxo de energia, pois afetam a transmissão e absorvência solar (Hillman et al., 2001; Bertipaglia et al., 2005).

O microclima em torno do animal pode ser pensado como um espaço quadri-dimensional no qual as quatro variáveis independentes – radiação, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa – estão agindo simultânea e dependentemente (Collier e Gebremedhin, 2015). A radiação é particularmente importante neste trabalho em razão do uso da termografia infravermelha. Qualquer objeto com temperatura acima de zero emite radiação eletromagnética (Moss, 1982). Praticamente toda troca de radiação entre os animais vivos se encontra na região infravermelha do espectro eletromagnético. É importante salientar que os fatores mais importantes de influência para troca de calor na forma de radiação compreendem a natureza da superfície corporal (fosco ou brilhante; pelagem espessa ou não, fina ou grossa; etc) (Collier e Collier, 2012). Por isso também, as características do pelame são determinantes na perda de calor em ruminantes (Berman, 2004), com a raça sendo um fator de influência nas características da pelagem (Govindaiah e Nagarcenkar, 1988; Gebremedhin et al., 2008, 2010). De fato, um gene de pelo liso (*slick hair coat*) foi encontrado em linhagens zebuínas da América do Sul, especialmente no Brasil, e está associado ao metabolismo energético, com maior tolerância ao calor dessas linhagens zebuínas em comparação às raças taurinas (Olson et al., 2003; Dikmen et al., 2008).

De acordo com Hansen (2004), os bovinos *Bos indicus* produzem menos calor, têm maior capacidade de dissipar calor para o ambiente ou uma combinação dos dois. A taxa de metabolismo basal do *B. indicus* é menor que a do *B. taurus* (Finch, 1985), embora as bases celulares e fisiológicas para esta diferença ainda permaneçam desconhecidas. Hales et al. (1978) sugeriram que possivelmente a maior perda de calor por parte dos zebuínos seja devido a maior densidade de anastomoses arteriovenosas, que facilitariam um aumento no fluxo sanguíneo para a derme durante o estresse térmico. Além do mais, o grau de insolação e a qualidade do pelame, que contribuem para a eficácia da dissipação do calor em bovinos, são também influenciados pela raça (Gebremedhin et al., 2008; Gebremedhin et al., 2010). Como será visto a seguir, as formas de dissipação de calor são importantes na mensuração da produção de calor do animal, assim como as características fenotípicas que determinam as diferenças

nas taxas de dissipação de calor entre bovinos de composições raciais diferentes.

2.1.2 Mensurações da produção de calor em ruminantes

A Lei da Conservação de Energia postula que a energia não pode ser criada ou destruída, apenas modificada em forma, e a Lei da Soma Constante de Calor (Lei de Hess), que o calor liberado por uma reação em cadeia é independente das vias químicas, depende apenas do produto final. Tais leis permitem a mensuração da produção de calor, tanto por métodos físicos (calorimetria direta), quanto por medições quantitativas de alguns subprodutos químicos do metabolismo (calorimetria indireta) (Kleiber, 1975). A calorimetria direta em animais é feita através de uma câmara hermeticamente isolada, onde o oxigênio é fornecido por um fluxo de ar e a perda de calor a partir do animal pode ser medida diretamente. Já a calorimetria indireta é baseada na relação entre a quantidade de calor produzido durante a oxidação de componentes alimentares ou corporais, em que a produção de calor é determinada pela quantidade de oxigênio consumida, dióxido de carbono e metano produzidos e nitrogênio excretado na urina. A equação geral, conforme Brower (1965) está descrita abaixo:

$$PC = 16,18 O_2 + 5,02 CO_2 - 2,17 CH_4 - 5,99 N$$

onde PC é a produção de calor (MJ/dia), o O_2 é a taxa de consumo de oxigênio (L/dia), o CO_2 é a taxa de produção de dióxido de carbono (L/dia), CH_4 é a taxa de emissão de gás metano (L/dia) e N é o nitrogênio excretado na urina (g/dia). A equação é baseada na combustão do carboidrato, proteína e gordura, tendo o dióxido de carbono, metano e ureia produzidos como produtos finais.

2.2 Metano entérico

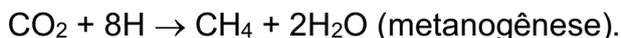
As emissões de metano (CH_4) pelos ruminantes variam conforme o tamanho da população de ruminantes, a sua produtividade, a composição da sua dieta e, também, o manejo dos sistemas de dejetos (Knapp et al., 2014). A maioria do CH_4 produzido em sistemas de bovinocultura resulta da fermentação entérica, sendo apenas 15% oriundos das fezes (Hindrichsen et al., 2005).

2.2.1 Metanogênese em ruminantes

O metano é um produto final da fermentação ruminal, formado autotroficamente por micro-organismos metanogênicos do gênero *Archaea* a partir do CO_2 e do H_2 derivados da fermentação de fontes de carbono, basicamente carboidratos estruturais e de armazenamento em plantas (Kebreab et al., 2006). O número exato de espécies ruminais de archaeobactérias é desconhecido (Janssen e Kirs, 2008), mas tem sido estimado em aproximadamente 360 a 1000, em unidades taxonômicas operacionais (Kong et al., 2013).

À medida que ocorre fermentação dos carboidratos no rúmen, há aumento

na concentração de hidrogênio (H_2), o qual precisa ser removido para que não haja inibição de sistemas enzimáticos que envolvem o NADH (nicotinamida adenosina difosfato), enzima importante no processo fermentativo (Pedreira, 2004). O excesso de hidrogênio no rúmen é eliminado pelos micro-organismos metanogênicos, principalmente do gênero *Archae* (Harper, 1999), através da reação



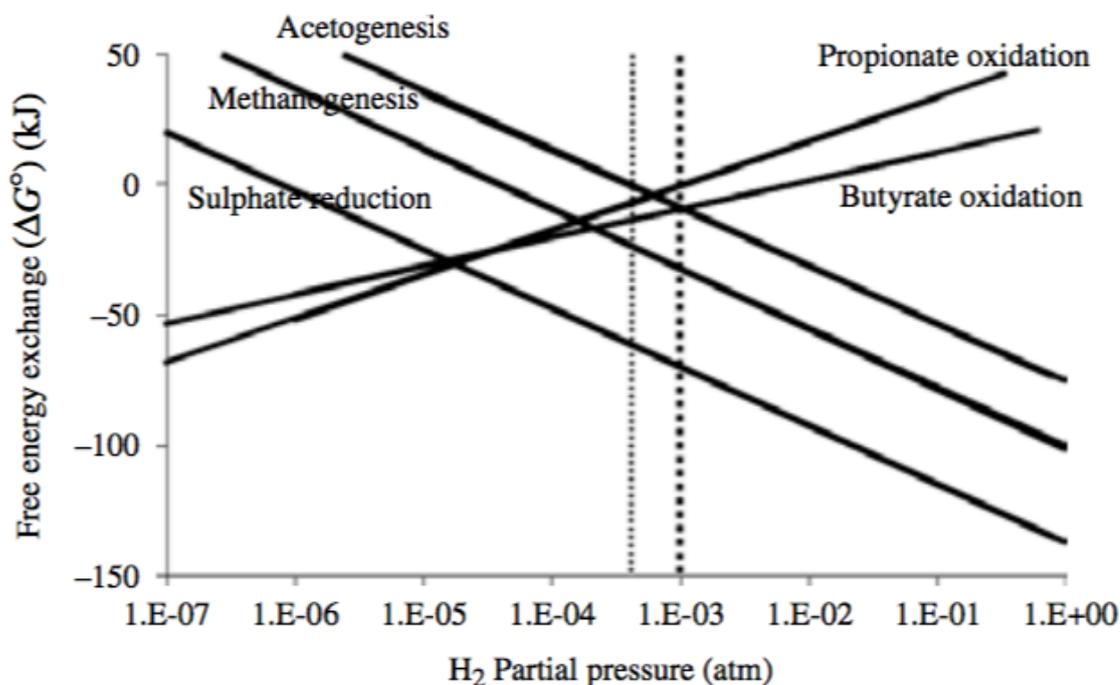
Esses micro-organismos são sensíveis às mudanças na dieta, de modo que aumento na taxa de passagem da digesta e na taxa de fermentação, decréscimo da ruminação ou do pH são fatores que favorecem a redução da quantidade de hidrogênio disponível para a formação de metano (Martins et al., 2006).

A formação de acetato e butirato, majoritariamente produtos da fermentação de carboidratos estruturais (embora quantidades razoáveis sejam produzidas também a partir da fermentação de carboidratos solúveis), resulta na produção de H_2 (Hegarty, 1999), que é reduzido para formar CH_4 conforme a reação anteriormente mencionada. Por outro lado, o propionato – amplamente produzido a partir da fermentação de carboidratos não-estruturais, serve como uma via competitiva para o H_2 , e sua produção é normalmente acompanhada por um decréscimo na produção total de CH_4 (Moss et al., 2000). O H_2 , portanto, é um substrato para a metanogênese, mas além dele também podem ser utilizados o formato, o acetato, o metanol, as metilaminas, o dimetil-sulfeto e alguns álcoois (Ellis et al., 2008). A preferência das metanogênicas pelo H_2 como substrato ocorre devido à termodinâmica dessa reação, que acaba sendo a mais energeticamente favorável em comparação com as outras.

A termodinâmica da reação está relacionada com o limiar mínimo de pressão parcial de H_2 no rúmen, de modo que se a pressão de H_2 for alta, as reações que utilizam H_2 como substrato são muito favoráveis energeticamente (Ungerfeld e Kohn, 2006). Os microorganismos acetogênicos teriam a habilidade de competir com as metanogênicas no rúmen por H_2 , porém, as metanogênicas têm vantagem nessa competição, pois podem reduzir a pressão parcial de H_2 a um determinado nível no qual ainda consigam utilizá-lo como substrato, evitando que as acetogênicas possam ser capazes de utilizar o H_2 nessas condições de baixas pressões parciais (Ellis et al., 2008). As bactérias redutoras de enxofre também poderiam competir com as metanogênicas por H_2 , mas para isso dependem da disponibilidade de composto que contenham enxofre. Porém, a dieta para um animal saudável não contém teores de enxofre altos o suficiente para permitir que as bactérias redutoras de enxofre excedam as metanogênicas como escape de H_2 no rúmen (Zinder, 1993). No gráfico da Figura 1 estão demonstrados exemplos das relações entre a termodinâmica das reações e a pressão parcial de H_2 .

Além do tipo de carboidrato fornecido, o consumo e a composição da dieta também são importantes fatores que influenciam na emissão de metano entérico pelos ruminantes. O aumento na digestibilidade da dieta geralmente provoca maior emissão de CH_4 /kg de MS consumida (Blaxter e Clapperton, 1965), mas as emissões de CH_4 /kg de MS digerida e de CH_4 /kg de produto normalmente diminuem com a melhora da dieta. A gordura diminui as emissões de metano porque não é um substrato fermentável no rúmen, mas também porque a

biohidrogenação de ácidos graxos age como uma válvula de escape ao H_2 ruminal e a gordura promove aumento nas concentrações de propionato no rúmen (Jentsch et al., 2007; Beauchemin et al., 2008; Ramin e Huhtanen, 2013).



Adaptado de Ellis et al. (2008).

Figura 1. Relações entre a termodinâmica das reações e a pressão parcial de hidrogênio, para bactérias produtoras de hidrogênio (oxidação de propionato e butirato) e para as bactérias que utilizam hidrogênio (acetogênicas, metanogênicas e redutoras de enxofre), onde a linha vertical representa a pressão parcial de hidrogênio mínima tolerada pelas metanogênicas (esquerda) e para a oxidação de propionato/butirato (direita).

Os protozoários também são importantes na metanogênese, pois liberam H_2 e CO_2 durante a quebra do amido, açúcar e fibra para produção de produtos como acetato e butirato (Williams e Coleman, 1997). As metanogênicas se beneficiam da transferência interespecie de H_2 , ao se ligar à superfície celular e ao citosol desses protozoários (Ushida et al., 1997). O número de metanogênicas associadas aos protozoários depende em parte da pressão parcial de H_2 no rúmen (Finlay et al., 1994). As metanogênicas tendem a permanecer livres durante o período em que o animal está se alimentando, pois esse período resulta em alta pressão parcial de H_2 e o substrato está sendo rapidamente fermentado no rúmen. Porém, mais metanogênicas tendem a se associar aos protozoários quando a pressão parcial de H_2 é baixa, por exemplo, no intervalo entre as refeições (Tokura et al., 1997).

Os ácidos graxos voláteis (AGV) são os maiores produtos finais da fermentação ruminal e representam a fonte primária de energia para o animal, sendo que o acetato, o propionato e o butirato correspondem por cerca de 95% dos AGV encontrados no fluido ruminal (Bannik et al., 2006). Em dietas com alto

teor de forragens, a relação acetato:propionato:butirato normalmente equivale a 70%:20%:10%, respectivamente. A quantidade de AGVs produzidos é uma função da população microbiana presente, que por sua vez é amplamente influenciada pela dieta e pelo tipo de carboidrato fermentado. No caso de dietas com alto teor de grãos, com grandes quantidades de carboidratos não-estruturais, o desenvolvimento das bactérias produtoras de propionato é favorecido e, conseqüentemente, a proporção de propionato aumenta em detrimento ao acetato (Beauchemin et al., 2008; Aguerre et al., 2010).

Isso resulta em um escape alternativo para o H₂ e, de fato, observa-se diminuição na metanogênese em animais recebendo dietas com alto teor de concentrado (Beauchemin e McGinn, 2006). Desta forma, metano e propionato representam vias competitivas de utilização do H₂ no rúmen. Além da influencia da dieta e, conseqüentemente dos AGV produzidos, a metanogênese também pode ser influenciada pelo pH ruminal. Inclusive, é provável que haja um sinergismo de efeitos do pH ruminal e da dieta sobre a metanogênese, uma vez que esta fosse inibida em pH baixo, permitiria que o H₂ disponível fosse utilizado pelas bactérias produtoras de propionato. Outros fatores interessantes que podem explicar a menor ou maior emissão de metano é a caracterização da população microbiana ruminal, pois em um estudo realizado por Danielsson et al (2017), foi observado que animais classificados como baixos emissores apresentaram maior proporção de bactérias *Methanobacter ruminantium*.

Sabe-se, porém, que mesmo animais da mesma raça e recebendo a mesma dieta podem apresentar diferenças na emissão de metano (Danielsson et al., 2012; Pinares- Patiño et al., 2013). Uma explicação plausível para as discrepâncias de produção de metano em ruminantes de distintas composições raciais é a diferença na taxa de passagem devido a diferenças no tamanho do rúmen (Goopy et al., 2014). De acordo com Swett et al. (1961), cruzamentos entre raças europeias e zebuínas resultam em animais com menor trato digestivo em comparação com as raças europeias puras. Por isso, é possível que os animais Holandês x Gir apresentem menor emissão de metano em comparação aos animais holandeses.

Tipicamente, entre 6 a 10% da energia total consumida por bovinos leiteiros é convertida a CH₄ e liberada na atmosfera via respiração. O metano tem teor de energia bruta estimado em 55MJ/kg, o que representa uma perda significativa de energia da dieta consumida pelos animais. Várias estratégias de mitigação têm sido avaliadas com o objetivo de reduzir a emissão de CH₄, incluindo, por exemplo, diferentes ingredientes ricos em lipídeos (beauchemin et al., 2009), o uso de ionóforos (Hook et al., 2009; Hook et al., 2010) e componentes de plantas como taninos, enzimas e extratos (Kolling et al., 2018).. Os aditivos podem reduzir a emissão de metano através da redução no fornecimento de H⁺ para as metanogênicas e por inibi-las diretamente (McAllister e Newbold, 2008). Recentemente, Kolling et al (2018) comprovaram que o extrato de orégano e o extrato de chá verde, quando administrados separadamente, são eficazes na redução do metano emitido por vacas Holandês e também por vacas Girolando F1. O extrato de orégano contém óleos essenciais e o extrato de chá verde contém compostos fenólicos, e podem diminuir a produção de metano no rúmen por provocar efeitos deletérios às metanogênicas ou por alteração no padrão fermentativo dos alimentos.

2.2.2 Mensuração da produção de metano em ruminantes

As câmaras respirométricas apresentam maior acurácia e menor coeficiente de variação quando comparadas a outros métodos de mensuração da emissão de metano *in vivo* (Blaxter e Clapperton, 1965; Grainger et al., 2007). O princípio desta técnica consiste na coleta de todo ar exalado pelo animal e mensuração da concentração de gases. A câmara fornece o fluxo de entrada e saída dos gases (oxigênio, dióxido de carbono e metano) e assim é possível calcular o balanço energético do animal. O fluxo de metano é calculado através da fórmula

$$CH_4 - \text{fluxo de ar} \times 10^6 \times [\text{saída de } CH_4 - \text{entrada de } CH_4]$$

Apesar de eficiente, esta técnica é cara, laboriosa e não é viável para mensuração de um grande número de animais simultaneamente. Outra técnica disponível é a que utiliza hexafluoreto de enxofre (SF₆), um gás dito “traçador”, sendo particularmente útil na mensuração da emissão de metano em animais em pastejo. O SF₆ é liberado de um *bolus* intraruminal e amostras de gás são continuamente coletadas do ar exalado por um canister. A concentração de SF₆ e CH₄ no gás coletado é analisada, então, por métodos cromatográficos. A partir do momento que a taxa de liberação do SF₆ e a concentração de gases são conhecidas, o fluxo de CH₄ pode ser calculado (Beauchemin et al., 2012). Embora esse procedimento seja usado em mais larga escala para avaliações genéticas e nutricionais, permanece sendo caro, laborioso e dependente de técnicos especialistas para sua operação e análise. Outro ponto negativo desta técnica é que o SF₆ é também considerado um potencial gás de efeito estufa.

2.3 Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha mensura mudanças na transferência de calor e no fluxo sanguíneo de animais através da detecção de mudanças sutis na temperatura da superfície corporal (Justino et al., 2014). Isso porque todos os corpos com temperaturas acima de zero absoluto emitem calor em forma de radiação, formando um espectro eletromagnético que pode ser absorvido por outros corpos ao seu redor (Roberto et al., 2014). Assim, o uso de câmeras termográficas permite detectar este tipo de radiação, até mesmo variações mínimas de temperatura (Knížková et al., 2007). Por ter uma alta sensibilidade para detectar as mudanças de temperatura, por menores que sejam, qualquer atividade que influencie no metabolismo tecidual ou na circulação sanguínea interferirá na temperatura da superfície da pele mensurada, sendo captada pela termografia infravermelha (Hoffman et al., 2013).

A termografia infravermelha é uma técnica sensível e não invasiva, e pode ser usada para mensurar mudanças na transferência de calor e fluxo sanguíneo, por intermédio da detecção de pequenas mudanças na temperatura corporal (Roberto et al., 2014). Cada parte do corpo do animal emite quantidades

diferentes de radiação infravermelha. O sistema de detecção da câmera termográfica converte a radiação recebida em sinais elétricos, que são então emitidos como valores de temperatura pelo sistema eletrônico (Kastberger e Stachl, 2003). Essas variações de temperatura podem ser digitalizadas e processadas por computadores, de modo a gerar imagens de um mapa térmico da superfície do animal, que promove uma análise detalhada do seu perfil de temperatura (Knížková et al., 2007).

A termografia infravermelha tem ganhado destaque na avaliação de diversas condições fisiológicas e reprodutivas de diferentes espécies animais (McManus et al., 2016). Em animais de produção, particularmente, suas aplicações incluem a detecção precoce de doenças, como mastite (Colak et al., 2008), doença respiratória viral bovina (Schaefer et al., 2007) e laminite (Nikkah et al., 2005); incluem também a avaliação de parâmetros para determinação do bem-estar animal, como determinação da resistência ao estresse térmico (Daltro et al., 2017), sensibilidade ao corte da cauda (Eicher et al., 2006) e reatividade ao estresse (Stewart et al., 2008); avaliação do trato reprodutivo (Coulter et al., 1988; Halachmi et al., 2008) e estimativa da qualidade de carne (Tong et al., 1995). Porém, ainda há poucos estudos sobre os aspectos produtivos, que englobem aspectos como o metabolismo energético do animal. Quanto à produtividade animal, Montanholi et al. (2009) determinaram a temperatura das porções distais dos quartos traseiros e da face como sendo os pontos anatômicos mais apropriados para mensurar indiretamente a eficiência alimentar de bovinos usando termografia.

Em estudo anterior, Montanholi et al. (2008) encontraram maior correlação entre a produção de calor e a temperatura das patas de bovinos, em comparação a outros pontos anatômicos da superfície corporal animal, indicando que as patas possam constituir o local mais apropriado para predição da produção de calor através da termografia infravermelha (TI). O autor não encontrou correlações com a produção de metano, mas vale ressaltar que o método utilizado para mensuração das trocas gasosas não foi o método padrão-ouro (câmara respirométrica) e sim, um método alternativo descrito por Odongo et al. (2008), que consiste em um sistema que encapsula apenas a região da cabeça do animal. Há ainda outro estudo, até o presente momento, realizado por Gomes et al. (2016), correlacionando a produção de calor com a termografia infravermelha. Este estudo, porém, foi realizado utilizando touros machos jovens como unidade experimental. As correlações encontradas trazem perspectivas favoráveis para futura utilização desta técnica não-invasiva.

Pode-se inferir, portanto, que a termografia infravermelha é uma técnica promissora para estimativa da produção de calor em bovinos, porém é necessário averiguar se essas correlações encontradas se manteriam caso o número de animais avaliados fosse maior ou tivesse composição racial diferente. Além disso, ainda não há dados acerca da termografia infravermelha e sua correlação com a produção de metano, embora possamos supor que haja uma associação, visto que a metanogênese ruminal é uma reação que gera calor e podem ser tomadas imagens termográficas da região do flanco esquerdo (região anatômica com maior proximidade do rúmen).

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.1 Hipóteses

3.1.1 As imagens termográficas de pontos anatômicos específicos estão associadas à produção de calor em vacas Girolando F1, da mesma forma que em vacas Holandês.

3.1.1 As imagens termográficas de pontos anatômicos específicos correlacionam-se com a produção de metano em vacas Holandês assim como em vacas Girolando F1.

3.2 Objetivos

3.2.1 Relacionar a produção de calor e as imagens termográficas de diferentes pontos anatômicos em vacas Holandês e em vacas Girolando F1.

3.2.2. Relacionar a produção de metano e as imagens termográficas de diferentes pontos anatômicos em vacas Holandês e em vacas Girolando F1.

CAPÍTULO II
ASSESSMENT OF HEAT AND METHANE PRODUCTION THROUGH
INFRARED THERMOGRAPHY IN LACTATING HOLSTEIN AND
HOLSTEIN X GIR CROSSBREED COWS⁴

⁴ Artigo a ser submetido ao Journal of Dairy Science.

Thermography and methane emission in Holstein and Gir

Assessment of heat and methane production through infrared thermography in lactating Holstein and Holstein x Gir crossbreed cows⁵

Anne Rosi Guadagnin*, João Pedro Matiello*, Rafael Sandin Ribeiro†, Luis Gustavo Ribeiro Pereira§, Vivian Fischer*

*Federal University of Rio Grande do Sul, Department of Animal Sciences, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil, 91540-000.

†Federal University of São João del-Rey, Department of Bioengineering, São João del-Rey, Minas Gerais, Brazil, 36307-352.

§Brazilian Agricultural Research Corporation, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil, 36036-330.

RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias alternativas para facilitar a mensuração da eficiência alimentar dos animais é necessário e traz efeitos positivos para a indústria de produção animal. O objetivo do presente trabalho foi correlacionar a temperatura de pontos anatômicos mensurados através de termografia infravermelha com a produção de calor e a emissão de metano em vacas Holandês e Girolando F1. Seis vacas mestiças Girolando F1 e quatro vacas Holandês em meio de lactação, primíparas, na metade da lactação, foram avaliadas quanto a produção de calor e emissão de metano diárias usando calorimetria indireta em câmaras respirométricas. As imagens termográficas foram

⁵ Adress: 7712 Bento Gonçalves Avenue, 91540-000, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

Corresponding author: Vivian Fischer – vivinha.fischer@hotmail.com

The authors declare no conflicts of interest.

tomadas em nove pontos anatômicos diferentes, a cada hora, durante oito horas após a alimentação por cinco dias. A termografia foi feita do ânus, da vulva, da costela (no lado direito), do flanco direito, do flanco esquerdo, da pata dianteira direita, do lábio superior, do masseter e do olho. Durante todo o experimento, as vacas receberam a mesma dieta *ad libitum* e a produção de leite e o consumo foram registrados diariamente. O estudo durou 40 dias, incluindo o período de adaptação dos animais às câmaras respirométricas. As análises de correlação mostraram que a emissão diária de metano foi correlacionada com a termografia infravermelha do olho na hora 6 após a alimentação em vacas Girolando F1 ($r=0,85$, $p<0,05$) e com a termografia infravermelha do olho na hora 5 em vacas Holandês ($r=0,88$, $p<0,05$). Além disso, a produção de calor foi correlacionada com a termografia infravermelha da pata dianteira direita uma hora após a alimentação em vacas Girolando F1 ($r=0,85$, $p<0,05$) e com a termografia infravermelha do olho cinco horas após a alimentação em vacas Holandês ($r=0,90$, $p<0,05$). Esses resultados foram posteriormente confirmados usando análise de regressão. As correlações das imagens termográficas com a produção de calor e emissão de metano foram similares entre as vacas Holandês e as vacas Girolando F1. A termografia infravermelha é efetiva na avaliação da produção de calor e da emissão de metano de vacas em lactação Holandês e Girolando F1, embora as imagens devam ser realizadas em pontos anatômicos diferentes.

INTRODUÇÃO

As atuais mensurações de produção de metano e de calor apresentam entraves quanto a sua aplicação em larga escala, seja por ser dispendioso, trabalhoso ou ambos, vide mensurações de consumo alimentar para se chegar ao consumo residual ou uso de câmaras respirométricas para avaliações dos gases respiratórios e produção de calor animal (MONTANHOLI et al., 2015). Estudos com metabolismo energético têm

demonstrado que bovinos mais eficientes têm menor produção de calor e menor emissão de metano (NKRUMAH et al., 2006).

A mensuração da emissão de metano e da produção de calor em bovinos requer equipamentos complexos e onerosos, como a câmara respirométrica, que limitam o número de animais testados e a duração do experimento. De acordo com estudos prévios (CASTRO BULLE et al., 2007; HEGARTY et al., 2007), animais eficientes energeticamente têm menor produção de calor, por terem menores exigências de energia para manutenção. Assim, estes animais perdem menos calor, resultando em redução da temperatura da superfície corporal. A termografia infravermelha (TI) tem sido utilizada para medir a temperatura externa de bovinos e outros animais (REKANT et al., 2016) e pode ser uma ferramenta útil na exploração da eficiência alimentar de ruminantes, já que a termorregulação está associada com o metabolismo e o gasto de energia (HERD; ODDY; RICHARDSON, 2004).

Estudos anteriores trouxeram resultados promissores para avaliação da produção de calor através de imagens termográficas, tanto em bovinos de leite quanto de corte (Montanholi et al., 2008; Schaefer et al., 2005). Já as informações sobre a correlação entre a emissão de metano e a temperatura da superfície corporal com TI são raras (MONTANHOLI et al., 2008). Sabe-se que a temperatura ambiente influencia o uso da energia total de diversas maneiras (YOUNG, 1975), afetando inclusive a emissão de calor por parte do animal (Collier et al., 2006), e que características fenotípicas como densidade e cor da pelagem, cor da pele e tamanho do animal influenciam na quantidade de calor produzido e dissipado (Branton et al., 1966; Berman, 2006; Collier, 2012), novas pesquisas levando em conta esses fatores precisam ser conduzidas.

Como a temperatura da derme é amplamente dependente da circulação subjacente e da taxa metabólica dos tecidos (BERRY et al., 2003), variações nos padrões de

temperatura superficiais resultantes de mudanças no metabolismo alteram a quantidade de calor irradiado, que pode ser identificado pela termografia infravermelha (Purohit et al., 1985). Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo relacionar a emissão de metano e a produção de calor em bovinos leiteiros da raça Holandês e mestiços Holandês x Gir com as imagens termográficas de diferentes pontos anatômicos, de modo a estimar seus valores usando esta técnica não invasiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

Animais e alojamento

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), protocolo número 252015. O experimento foi conduzido no Campo Experimental José Henrique Bruschi, da EMBRAPA, Coronel Pacheco, em Minas Gerais, Brasil. O período experimental foi de setembro a outubro de 2016. Utilizou-se um total de 10 vacas primíparas em meio de lactação (6 mestiças Girolando F1 e 4 Holandês) com $200 \pm 15,5$ DIM e XXX BW. As vacas foram alojadas em galpões *tie-stall* com cama de borracha e água ad libitum. A dieta (TMR) foi formulada de acordo com as recomendações do NRC (2001) e fornecida individualmente duas vezes ao dia, às 09:00 e 16:00 h, permitindo 5 a 10% de recusas. As vacas foram ordenhadas duas vezes ao dia, às 8h30 e às 15h30. O consumo diário de matéria seca (CMS) e a produção de leite (PL) foram registrados. O experimento (21 d) foi dividido em uma fase de adaptação (d 1 a 14) e uma fase de coleta de dados (d 15 a 21). Uma representação esquemática do período experimental é mostrada na Figura 1.

Composição e ingestão de nutrientes

Amostras de ingredientes alimentares e TMR (Tabela 1) foram obtidas no primeiro dia de cada semana e analisadas para DM (Detmann et al., 2012; método INCT-CA n° G-003/1). A composição da dieta foi ajustada semanalmente para mudanças no conteúdo de matéria seca (MS). O TMR oferecido e recusado de cada vaca foi registrado para determinar a ingestão com base nas análises semanais do DM e também para monitorar qualquer possível mudança no DMI diário quando as vacas estavam nas câmaras respiratórias. Amostras do TMR entregues a cada vaca (n = 10) foram coletadas no d 19 e analisadas quanto aos teores de MS, cinzas, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não-fibrosos (CNF) e extrato etéreo (EE) por métodos químicos.

Parâmetros fisiológicos

A avaliação dos parâmetros fisiológicos foi realizada diariamente durante todo o período para monitorar o estado de saúde. A temperatura retal foi medida usando um termômetro digital intrarectal. A taxa de respiração foi registrada observando a vaca respirar por 30 s e a frequência cardíaca foi medida usando um estetoscópio por 15 s. Avaliações visuais foram realizadas para monitorar o escore fecal. Os escores fecais foram alocados em uma escala de 1 a 4, de acordo com Krause et al. (2009): 1 = líquido: consistência líquida, respinga no impacto ao solo, se espalha rapidamente; 2 = solto: pode se acumular levemente e se espalhar e respingar moderadamente no impacto; 3 = soft: empilha, mas se espalha ligeiramente no impacto e no formato; 4 = seco: aparência dura e seca, forma original não distorcida no impacto e formato. A temperatura corporal foi considerada elevada se >100 batimentos/min; a taxa respiratória foi considerada anormal se >40 respirações/min; o escore fecal foi considerado anormal se <2 (Ireland-Perry e Stallings, 1993; Krause e Oetzel, 2005). As avaliações do peso vivo (PV) e do escore de

condição corporal (ECC) foram feitas semanalmente após a ordenha matinal. Uma balança eletrônica foi utilizada para pesagem e o ECC foi avaliado em escala de 1 a 5, segundo Wildman et al. (1982).

Produção de calor e de metano

Um sistema de mensuração de trocas respiratórias consistido de 4 câmaras climatizadas e um conjunto de medidores de vazão e analisadores foi usado para medir o consumo de O₂, o CH₄, as emissões de CO₂ e a produção de calor de todas as vacas. As 4 câmaras compartilhavam um sistema comum de análise e aquisição de gás (Sable System International), que fornece 3 medições por hora para cada câmara e 66 medições em 1 d (considerando um período de medição de 22 h/d). As vacas entraram na câmara em uma ordem aleatória e cada vaca foi mantida na câmara por 22h por dia, saindo somente para a ordenha da tarde. Cada câmara tinha volume de 21,10 m³ (3,68 x 2,56 x 2,24 m) e era feita de aço com janelas de vidro duplo em ambos os lados, permitindo o contato visual entre os animais. As câmaras eram controladas independentemente do clima e podiam manter a temperatura e a umidade relativa na faixa de 5 a 45°C e 30 a 80%, respectivamente. As trocas diárias de gases eram calculadas por integração (área sob a curva). Os dados de alimentação e produção de leite eram integrados aos dados de emissão de CH₄ e produção de calor (PC), calculados de acordo com Brouwer (1965). Para este estudo, o nitrogênio urinário foi negligenciado na equação de Brouwer, porque dá uma contribuição muito pequena para o PC em comparação com O₂ e CO₂ (Verstegen et al., 1987). Todos os animais foram pesados antes da entrada nas câmaras.

Imagens Termográficas

No dia seguinte, as mesmas vacas que passaram pelas câmaras respiratórias ficaram no galpão *tie-stall* para a tomada das imagens termográficas (IT). Este processo foi repetido duas vezes por animal. As imagens termográficas foram tiradas com uma câmera infravermelha (FLIR T420, FLIR Systems Inc., Wilsonville, OR) nos dias 16, 17, 18, 20 e 21, de hora em hora das 11:00 h às 18:00 h. As regiões anatômicas avaliadas foram olho, focinho, região do masseter, costelas do lado direito, flanco direito, flanco esquerdo, membro anterior direito, ânus e vulva (Figura 2). Foram estabelecidos os seguintes padrões de imagem: valor de emissão de 0,98, temperatura de refletância de 20°C e distância de 0,15 m entre a região do olho e a termografia; distância de 1 m entre o membro direito e a termografia; e distância de 0,30 m entre a termografia e o restante das regiões anatômicas avaliadas, de acordo com as recomendações do fabricante para tecidos biológicos e com os valores utilizados por Montanholi et al. (2008). Todas as imagens térmicas foram obtidas em uma área coberta (*tie-stall*), sem interferência do vento ou luz solar direta. As vacas foram contidas manualmente durante a avaliação, sem manipulação das áreas avaliadas. A temperatura ambiente média registrada durante as avaliações de imagem foi de $28,3 \pm 3,55^\circ\text{C}$ (umidade relativa de $57,9 \pm 12\%$). As imagens geradas foram processadas e interpretadas usando o software FLIR Tools 5.6 (FLIR Systems Inc.).

Para estabelecer uma área constante de avaliação, uma figura foi desenhada na superfície da imagem e foi então arrastada para a região da pele localizada na área escolhida (Gomes et al., 2016). Apenas a temperatura média dentro de cada área definida foi considerada, para reduzir a interferência de fatores que poderiam influenciar a termografia, como contato com superfícies mais frias ou contaminação por água, fezes ou urina.

Análise estatística

Os dados foram analisados usando o SAS versão 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC). A análise descritiva foi obtida utilizando o SAS PROC UNIVARIATE (SAS, 2016). A produção de leite, DMI, IRT e produção diária de metano e calor foram avaliadas como medidas repetidas usando o SAS PROC MIXED, considerando os efeitos os efeitos de grupo genético e dia. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis calor e produção de metano e IT foram obtidos com PROC CORR. As medidas de IT com maior correlação com a produção de calor e metano foram submetidas à análise de regressão simples por meio do PROC REG.

RESULTADOS

A temperatura ambiente média (do tie-stall) foi de $28,3\pm 3,55^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa média de $57,9\pm 12\%$. A composição dos ingredientes e os nutrientes analisados da dieta experimental são mostrados na Tabela 1. A Tabela 2 mostra os resultados para as medidas de saúde, CMS, PL, PC e CH_4 . Não observamos diferença em nenhuma das variáveis acima mencionadas entre as vacas Holandês em relação às vacas mestiças Girolando F1, e as variáveis de saúde observadas estavam dentro dos valores de referência para bovinos. A produção de calor foi de $26.094\pm 1.835\text{kcal/d}$ para GH; e $25.138\pm 2.451\text{kcal/d}$ para H. A produção de metano variou de 295g/d a 368g/d para vacas do GH e de 280g/d para 362g/d para vacas H (os valores médios foram de $324\pm 25\text{g/d}$ para GH e $304\pm 28\text{g/d}$ para H) (Tabela 2). A figura 3 mostra o comportamento da produção de calor e metano ao longo do dia, tanto para animais GH quanto H.

A emissão de metano/hora não apresentou correlação significativa com a emissão de metano diária, e o mesmo ocorreu com a produção de calor, em ambos os grupos genéticos avaliados. Porém, a emissão de metano diária teve alta correlação com a

produção de calor diária (H: $r=0,92$, $p<,0001$; GH: $r=0,78$, $p<,0001$) e a emissão de metano/hora também teve alta correlação com a produção de calor/hora (H: $r=0,80$, $p<,0001$; GH: $r=0,77$, $p<,0001$). O ânus, a costela, o flanco direito, o flanco esquerdo, o lábio superior, do masseter, o olho, a pata e a vulva apresentaram valores médios de termografia similares. As temperaturas termográficas médias no ânus, na costela, nos flancos direito e esquerdo, no lábio superior, no olho, na pata e na vulva foram correlacionadas positivamente com a temperatura ambiente média (Tabela 3). A temperatura avaliada no masseter e a diferença de temperatura entre os flancos não apresentaram correlações estatisticamente significativas com a temperatura ambiente. As temperaturas médias dos pontos anatômicos, a produção média de calor/hora, a emissão média de metano/hora e o consumo médio diário de matéria seca não diferiram entre os as diferentes composições raciais avaliadas (Tabela 2 e 4).

Encontraram-se correlações positivas entre a emissão de metano/dia e os valores termográficos do Ânus, da Costela, do Flanco Esquerdo, do Olho e da Vulva de animais Holandeses; e também correlações positivas com o Flanco Direito, o Flanco Esquerdo e o Olho de animais Girolando F1. O ponto anatômico com maior correlação com a emissão de metano diária para ambos os grupos genéticos foi o olho (H: $r=0,48$; GH: $r=0,41$). A produção de calor diária apresentou correlações com as termografias do olho e da vulva, mas apenas em vacas Holandês (Tabela 5).

Foram encontradas correlações fortes ($>0,7$) quando se analisaram os dados de termografia em horas determinadas após a alimentação com os atributos relativos à produção de calor e a emissão de metano (Tabela 6). Em animais Holandês x Gir, destacam-se as medições realizadas no olho na hora 5, que se correlacionaram positivamente com a emissão de metano ($0,85$, $p<0,05$); e as medições realizadas na pata na hora 1, que apresentaram forte correlação positiva com a produção de calor ($r=0,88$,

$p < 0,05$). Em animais Holandês, as medições realizadas no olho na hora 5 apresentaram correlações fortes tanto com a produção de calor ($r = 0,90$, $p < 0,05$) quanto com a emissão de metano ($r = 0,88$, $p < 0,05$). Foram descritas somente as correlações estatisticamente significativas.

As equações de regressão com maior coeficiente de determinação entre os valores termográficos e as produções de metano e calor variaram conforme o grupo genético (Tabela 7). A emissão de metano diária aumentou linearmente com a TI na costela ($r = 0,72$) e no olho ($r = 0,74$), respectivamente em vacas GH e H. A produção de calor diária aumentou linearmente com a TI na pata ($r = 0,72$) e no olho ($r = 0,82$), respectivamente em animais GH e H (Figura 4).

DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar se a termografia infravermelha é capaz de mensurar a produção de calor e a emissão de metano em vacas da raça Holandês e Girolando F1 em lactação. Nosso experimento tornou possível determinar o melhor horário do dia para se correlacionar a temperatura de determinado ponto anatômico com a produção de calor diária e com a produção de metano diária tanto de vacas Holandês quanto Girolando F1 (Tabela 6). Estas correlações foram confirmadas com análises de regressão, posteriormente (Figura 4). Contudo, é interessante observar que apenas um ponto anatômico possibilitou a associação com a produção de calor em ambos os grupos genéticos: a TIF do olho na hora 6. Para a associação com a emissão de metano, por sua vez, é necessário medir a diferença de temperatura entre as TIF dos flancos, porém mensuradas em horas diferentes (GH: hora 2 e H: hora 1). Possivelmente isso é devido à complexa dinâmica de dissipação do calor produzido em ruminantes (calor esse captado por TI), que depende de vários fatores concernentes tanto ao animal - raça, pelagem, tamanho de superfície corporal – (Hillman et al., 2001; Bertipaglia et al., 2005; Berman

and Horovitz, 2012; Gebremedhin, 2012) quanto ao ambiente em que se encontra (Collier e Gebremedhin, 2015).

Em animais GH, a maior correlação com a produção de calor diária foi obtida através da termografia do olho na hora 6 após a alimentação ($r=0.85$), sendo que para vacas H as maiores correlações foram obtidas no ponto anatômico, em horários similares (hora 5, $r=0.88$; hora 6, $r=0.86$). A região ocular é altamente vascularizada, permitindo grande dissipação de calor, e é representativa da temperatura interna do animal (Dunbar et al., 2009), porém futuros estudos são necessários para entender porque as temperaturas de determinadas regiões anatômicas apresentam maiores correlações com a produção de calor total.

Os maiores coeficientes de determinação das equações envolvendo a produção de calor foram encontrados com valores de TI da pata para animais GH ($r=0.72$, $p<0.05$) e do olho para animais H ($r=0.82$, $p<0.05$) (Figura 4, Tabela 7). Apesar de haver uma porcentagem considerável de efeitos não identificados pelo modelo – 18% a 28% não foram explicados – isso é compreensível, pois a TI capta apenas o calor dissipado por meios não- evaporativos, mais especificamente por radiação (Roberto et al., 2014). A dissipação do calor em mamíferos ocorre também por outras três vias além da radiação, que são a condução, convecção e a evaporação (Kleiber, 1972), sendo que essas vias de termorregulação são dependentes de variáveis como a temperatura ambiente, a radiação solar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento (Collier et al., 2006), além de variáveis relativas ao animal, como consumo de matéria seca, por exemplo (Collier e Gebremedhin, 2015).

Ao contrário do que foi observado por Montanholi et al. (2008), a termografia infravermelha apresentou sim correlações altas com a emissão diária de metano em vacas em lactação. Quando utilizados os valores de oito horas seguidas de mensuração

(iniciadas após o fornecimento de alimento), a TI apresentou correlações positivas com a emissão de metano, embora os coeficientes de correlação tenham sido baixos a moderados (Tabela 5). Essa correlação aumentou quando se usaram as temperaturas dos pontos anatômicos em determinadas horas (Tabela 6). A produção de metano diária teve maior correlação com a termografia da pata 1 hora após a alimentação para animais GH ($r=0.85$) e do olho, 5 horas após a alimentação para animais H ($r=0.90$).

Observa-se também, em ambas as composições raciais avaliadas, correlações positivas da produção de metano diária com a diferença de temperatura entre os flancos, 1 a 2 horas após a alimentação (GH $r=0.60$; H $r=0.79$). Isto pode ser justificado pelo pico de fermentação ruminal ocorrer nesse momento e por haver maior atividade das metanogênicas quando há maior quantidade de substrato disponível, com consequente aumento da disponibilidade de H_2 oriundo dessa fermentação (Ellis et al, 2008). Essas correlações foram posteriormente comprovadas por análise de regressão (Figura 4).

Os coeficientes de determinação das equações de regressão apresentados na Tabela 7 indicam que, em animais GH, 72% da variabilidade na produção de metano diária pode ser explicada pelo modelo, ou seja, pela dissipação de calor do animal. Porém, é importante ressaltar que 28 a 26% das interações não foram explicadas, mas em parte isso já era esperado, visto que a dinâmica de emissão de metano pelos microorganismos ruminais (e em menor escala, do intestino) é bastante complexa e pode variar de acordo com a proporção de ácidos graxos voláteis produzidos (ALLEN, 1997; BANNINK et al., 2006), o nível de competição por substratos no rúmen (ELLIS et al., 2007), a interação das metanogênicas com a população de protozoários (Dijkstra et al., 2008) e o pH ruminal (ELLIS et al., 2008).

A predição da emissão de metano deve ser feita com cautela, pois deve-se levar em consideração dois fatores importantes: primeiro, a dieta que o animal está recebendo,

uma vez que dietas com maior quantidade de grãos devem gerar menos metano ruminal como resultado da maior produção de propionato ao invés de acetato (Ellis et al., 2009; Ramin and Huhtanen, 2013; Ellis et al., 2014). Segundo, porque a proporção de energia consumida que é liberada na forma de metano pode ser diminuída quando se aumenta o consumo, através de mudanças nos padrões de fermentação, aumento da taxa de passagem de partículas e redução da eficiência metanogênica da população microbiana (RAMIN; HUHTANEN, 2013; RICCI et al., 2013).

Na Figura 3, observa-se o comportamento da produção de calor e da produção de metano ao longo do dia. Conforme corroborado em nosso estudo, a produção de metano tem alta correlação positiva com a produção de calor (H $r=0.92$; GH $r=0.72$), mas não diferem entre os grupos genéticos. Isso também é possível de observar graficamente na Figura 3, onde nota-se aumentos e quedas em momentos similares. Também é importante observar como a produção de calor e de metano são maiores durante o dia (1000 a 1900 h), período em que os animais receberam alimento e tiveram maior atividade (ordenha, termorregulação, digestão, etc), mas não diminuem completamente durante a noite.

Durante o período de ingestão de alimento pelo animal, a pressão de H_2 parcial no rúmen aumenta e os micro-organismos metanogênicos têm substrato prontamente disponível na forma de hidrogênio para emissão de metano (TOKURA et al., 1999). Já no intervalo entre as refeições, a pressão de H_2 no rúmen tende a diminuir e os micro-organismos metanogênicos associam-se então com a população de protozoários ruminais, que disponibilizam H_2 a partir da fermentação dos substratos que acumularam quando da chegada do alimento ao rúmen (Williams & Coleman 1988), ou utilizam de outros substratos como formato (Schauer e Ferry, 1980), acetato e metanol – em dietas com altos teores de pectina (SCHINK; ZEIKUS, 1980), refletindo as flutuações de metano emitido ao longo do dia observadas no presente trabalho (Figura 3).

Os picos e da produção de metano são observados nas horas após a alimentação, representando o momento em que há maior disponibilidade de H_2 para as metanogênicas. Montanholi et al. (2008) observaram este mesmo comportamento quando avaliaram a produção de calor. A emissão de metano durante o período avaliado apresentou comportamento coerente com o descrito por Murray et al., 1999, Lockyer and Champion, 2001 e Montanholi et al (2008), os quais observaram a ocorrência de aumento na emissão de metano após o fornecimento de alimento. Os momentos em que se observam quedas acentuadas na emissão de metano e de calor em ambos os grupos durante o dia (Figura 3) correspondem à hora da ordenha e ao segundo fornecimento de alimentação. Os picos da produção de calor observados podem representar o incremento calórico da alimentação, que ocorre geralmente de uma a duas horas após o fornecimento do alimento (Kleiber, 1975).

Essa relação entre a emissão de metano pela microbiota do trato digestório e a ingestão de matéria orgânica digestível pelo animal é imprevisível e não-linear (ALFORD et al., 2006), porém, a emissão de metano pode ser correlacionada com a produção de calor do animal, conforme demonstrado no presente estudo. Por definição, a produção de calor é uma medida da soma total das transformações energéticas que acontecem no animal, por unidade de tempo (Yousef, 1985), e os animais produzem calor (e o perdem) continuamente, com seu comportamento apresentando flutuações ao longo do dia (Figura 3). Isso porque o metabolismo energético é afetado por inter-relações complexas entre todos os processos fisiológicos (Roelfeldt, 1988).

Estes processos incluem a manutenção do seu organismo (manutenção da vida), a síntese de tecidos corporais, a lactogênese e secreção do leite em fêmeas e, também, a perda da energia sob forma de metano, de calor nos gases da respiração, nas fezes e na urina (KADZERE et al., 2002). Birkelo et al. 2004 observaram valores de produção de

calor (27.300 Kcal/dia) próximos aos encontrados no presente estudo (Tabela 2). Montanholi et al. (2008) observaram valores maiores de produção de calor (29,489,2 Kcal/d), mas a mensuração da produção de calor de seus animais foi feita através de um sistema móvel de ventilação em circuito-aberto (descrição em Odongo et al., 2008), onde uma caixa hermética envolve apenas a cabeça do animal e não o corpo inteiro, como ocorre nas câmaras respirométricas. As duas técnicas podem apresentar diferenças nas mensurações, podendo não ser significativamente divergentes (Johnson e Johnson, 1995), porém a câmara respirométrica é o método padrão-ouro para avaliação de trocas gasosas entre animal e ambiente (Young, 1975; McLean and Tobin, 1987; Johnson and Johnson, 1995).

O calor produzido pelos animais é dissipado através da pele por radiação (Birkett e de Lange, 2001; Kleiber, 1961) e pode ser capturado por termografia infravermelha, refletindo o gasto energético de funções metabólicas, como a termorregulação. Em condições ambientais de termoneutralidade, a perda de calor ocorre principalmente por condução e radiação, que são mecanismos de termorregulação dependentes do gradiente de temperatura entre o organismo e o ambiente. Sempre que a temperatura ambiente excede o limite crítico superior da zona de conforto térmico, a dissipação de calor por meios não-evaporativos se torna ineficiente e o organismo precisa ativar mecanismos evaporativos, aumentando a sudorese, a taxa respiratória e as temperaturas corporal interna e superficial (Stevens 1981; Finch et al., 1986; Campos Maia et al., 2005; Maia et al., 2005; Perissinotto and Moura, 2007). Isto pôde ser observado no presente estudo, com a temperatura média ambiente em torno de 28°C e, conseqüentemente, a temperatura média dos pontos anatômicos avaliados (Tabela 4) foram superiores às observadas por Montanholi et al. (2008), Martello et al., 2016 e Salles et al. (2016).

Apesar dos valores de temperatura corporal dos animais se encontrarem dentro dos valores de referência para bovinos (Rodrigues, 2006; Constable, 2016), se avaliados concomitantemente à frequência respiratória, indicam estresse térmico leve, porém sob controle (PIRES; CAMPOS, 2004). O aumento na frequência respiratória é um dos mecanismos de dissipação de calor ativado por ruminantes que se encontram em condições climáticas acima do limite superior da zona de termoneutralidade (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015), mas o fato de a temperatura corporal ter se mantido entre 38° e 39° é um indicador de que os animais mantiveram sua homeostase térmica (Pires e Campos, 2004).

As temperaturas do ânus, da costela, dos flancos direito e esquerdo, do lábio superior, do olho, da pata e da vulva foram correlacionadas positivamente com a temperatura ambiente (Tabela 3). A correlação positiva de fraca a moderada confirma o efeito da temperatura ambiente sobre os valores termográficos, uma vez que afeta a temperatura corporal do animal, pela troca de calor entre o organismo e o ambiente (Collier et al., 2006), mas também atesta o fato de que animais homeotérmicos exercem um controle bastante rígido sobre a variação de sua temperatura interna (Bligh, 1985). Também por este mesmo motivo, as temperaturas médias foram similares nos diferentes pontos anatômicos, apesar de ter havido maior amplitude de variação na temperatura da pata (25,5°C a 38,2°C para animais GH; 29,3°C a 38°C para animais H). Essa maior variação de temperatura nos membros acontece devido aos mecanismos de termorregulação, que promovem maior vasodilatação nos vasos cutâneos periféricos, aumentando o fluxo sanguíneo e a troca de calor (Bligh J, 1985). D'Alterio et al. (2011) observaram certa ritmicidade entre a temperatura da pata e a temperatura retal de ovinos e atribuíram essas flutuações na temperatura dos membros à influência das variações no fluxo sanguíneo das extremidades.

A temperatura média dos pontos anatômicos foi maior que àquelas descritas por Montanhholli et al. (2008) e Salles et al. (2016), em parte porque os animais utilizados por estes autores encontravam-se em condições de temperatura e umidade ambiente mais baixas, dentro da faixa de termoneutralidade. Os valores de termografia mais altos deste estudo indicam mecanismos de termorregulação ativos e eficazes, pois a temperatura retal se encontrava dentro dos valores fisiológicos de referência (Rodrigues, 2006; Constable, 2016), ou seja, temperatura corporal entre 38° e 39°C. As médias diárias de emissão de metano, produção de calor e consumo de matéria seca (MS) não diferiram entre os grupos genéticos avaliados, muito embora o consumo de MS/dia tenha apresentado maior variação entre os animais GH que entre os animais H. A produção de leite também teve maior amplitude de variação nestes animais, seguindo a mesma tendência do consumo de MS.

CONCLUSÕES

A termografia infravermelha é efetiva na avaliação da produção de calor e de metano de vacas em lactação Holandês e Girolando F1. Para vacas Holandês, pode-se avaliar a produção de calor e de metano com a termografia infravermelha da região ocular, cinco horas após a alimentação; já para vacas Girolando F1, a produção de calor é melhor avaliada com a termografia infravermelha da região ocular, porém seis horas após a alimentação, e a produção de metano é melhor aferida com termografia infravermelha da pata, uma hora após a alimentação. Essa determinação do melhor horário com base em “horas após a alimentação” e de um ponto anatômico específico permite que a técnica seja implementada em diferentes situações de manejo e também facilita a aplicação da técnica, visto que não são necessárias medidas repetidas de termografia infravermelha ao longo do dia ou em diversos pontos anatômicos.

APÊNDICES

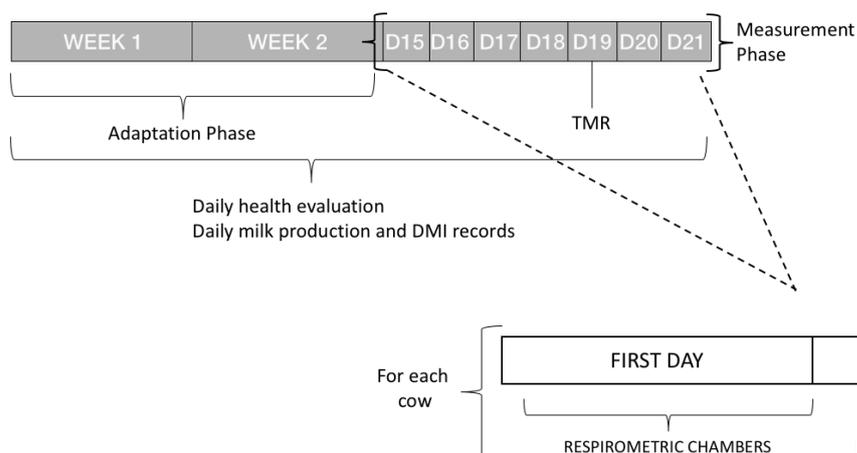


Figura 1. Desenho esquemático de cada period experimental e fase de coleta de dados (dias, d, 15 a 21). Cada vaca foi submetida duas vezes a um dia na câmara respirométrica seguida de um dia de tomada de imagens termográficas. Dietas similares foram ofertadas durante todo o período, incluindo na fase de adaptação. A temperatura ambiental e a umidade relativa do ar foram registradas diariamente. TMR = total mixed ration (ração totalmente misturada); IFT = infrared thermography (termografia infravermelha).

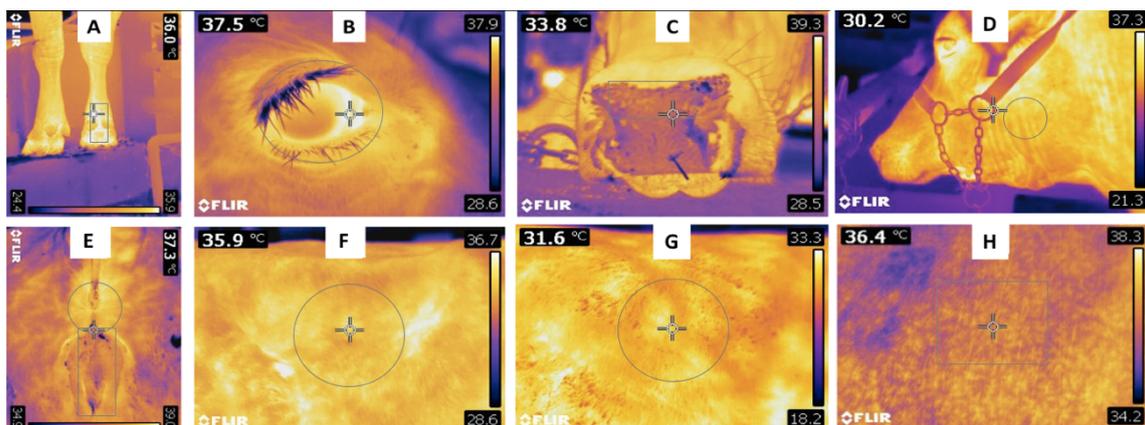


Figura 2. Fotos das imagens termográficas de A) pata anterior direita, B) olho, C) lábio superior, D) masseter, E) vulva e anus, F) flanco esquerdo, G) flanco direito e H) costela direita. Note que a figura para alcançar uma área constante de avaliação é desenhada nestas fotos.

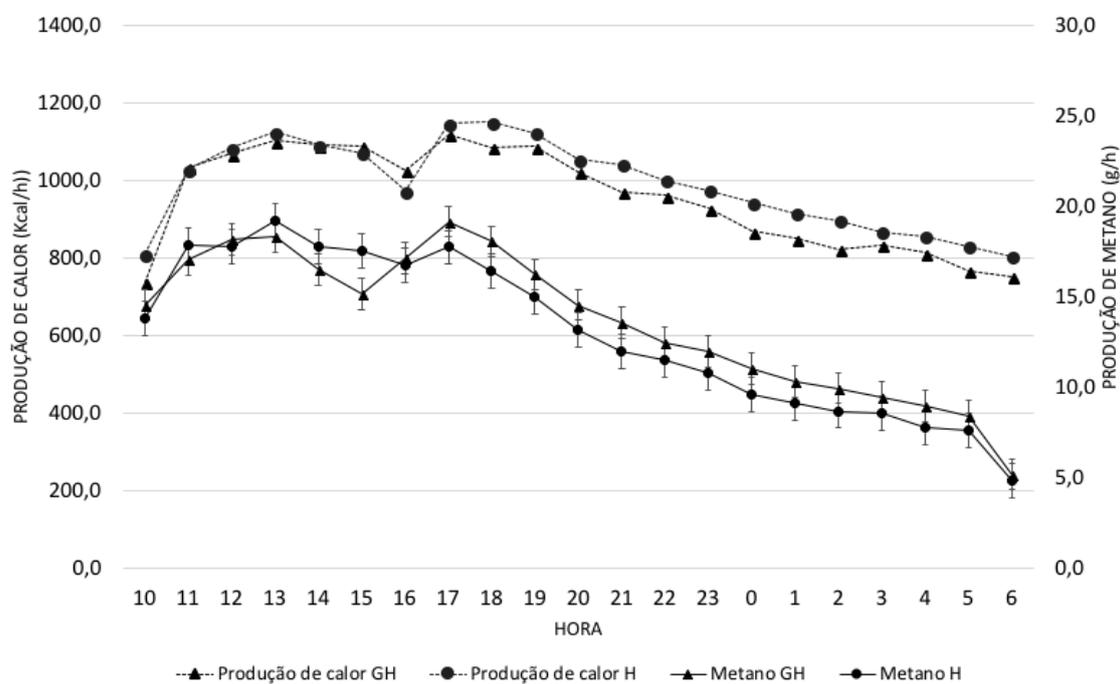


Figura 3. Comparação da produção de calor (PC) e de metano (CH_4) entre as vacas Girolando F1 (GH) e Holandês (H), durante as horas do experimento.

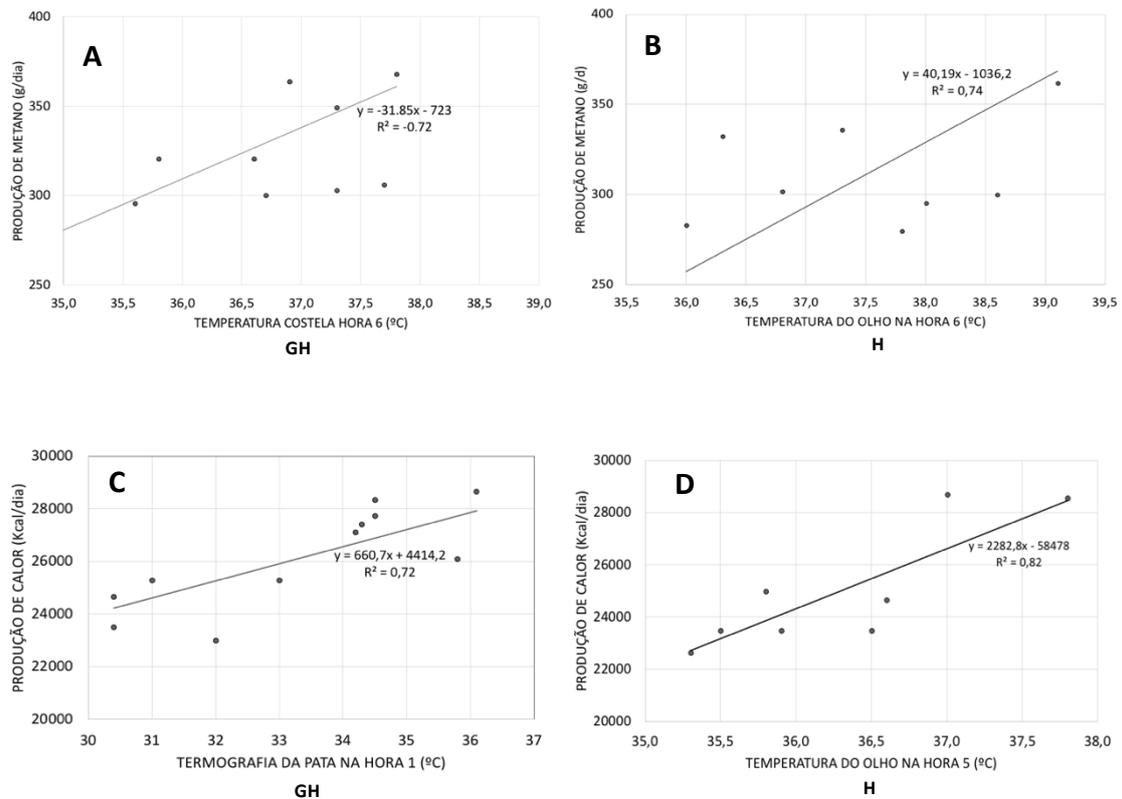


Figura 4. Gráficos de regressão linear simples. A = Temperatura da costela na hora 6 e produção de metano em vacas Girolando F1 (GH); B = Temperatura do olho na hora 6 e produção de metano em vacas Holandês (H); C = Temperatura da pata na hora 1 e produção de calor em vacas GH; D = Temperatura do olho na hora 5 e produção de calor em vacas H.

Tabela 1. Ingredientes e composição química da dieta oferecido aos animais durante todo o período experimental.

Item	Média	DP ¹
Ingredientes, % MS ²		
Silagem de milho	46,7	-
Feno de tifton	5,1	-
Milho em grão finamente moído	25,8	-
Farelo de soja	17,9	-
Pre-mix vitamínico e mineral	1,4	-
Fosfato dicálcico	1,2	-
Bicarbonato	1,0	-
Ureia	0,4	-
Óxido de magnésio	0,4	-
Composição química		
Matéria seca %	42,1	1,87
Cinzas % MS	7,3	0,07
Proteína bruta % MS	13,8	0,01
Fibra em detergente neutro, % MS	34,0	1,28
Fibra em detergente ácido, % MS	17,3	0,92
Carboidratos não-fibrosos, % MS ³	43,4	1,44
Extrato etéreo, % MS	2,6	0,22

Tabela 2. Frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura retal, consumo de matéria seca, produção de leite, produção de calor e produção de metano em vacas Girolando F1 (GH) e em vacas Holandês (H) (200±15.5 dias em lactação).

Variáveis	GH	H
Frequência respiratória (mov/min)	45.7±12.1	39±12.6
Frequência cardíaca (batimentos/min)		
Temperatura retal (°C)	38.6±0.3	38.4±0.4
Consumo de matéria seca (kg/d)	21.79±3.86	21.45±2.55
Produção de leite (l/d)	12.02±8.62	22.53±2.17
Produção de calor (kcal/d)	26.094±1.835	25.138±2.451
Produção de metano CH ₄ (g/d)	324±25	304±28

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre a temperatura ambiente e as temperaturas de diferentes pontos anatômicos mensuradas através de termografia infravermelha de vacas leiteiras Holandês e Girolando F1.

Item	Temperatura Ambiente (valor de P)
Ânus	0,18 ^a
Costela	0,37 ^a
Flanco Direito	0,35 ^a
Flanco Esquerdo	0,43 ^a
Diferença entre os flancos	0,02
Lábio superior	0,41 ^a
Masseter	0,11
Olho	0,23 ^a
Pata	0,31 ^a
Vulva	0,24 ^a

^a: correlações experimentalmente significativas para um intervalo de confiança de 5%

(Benjamini e Hochberg, 1995).

Tabela 4. Temperatura de diferentes pontos anatômicos (°C) de vacas Girolando F1 e Holandês mensuradas através da termografia infravermelha.

Termografia	GH	H
Pata anterior direita (°C)	34,6±3,96	34,5±1,85
Olho (°C)	36,8±0,97	36,3±0,82
Lábio superior (°C)	34,2±1,25	34,1±1,20
Masseter (°C)	36,2±1,05	35,8±1,22
Ânus (°C)	36,5±3,58	37,1±1,26
Vulva (°C)	36,6±1,28	36,9±0,97
Flanco esquerdo (°C)	36,6±1,36	36,0±1,61
Flanco direito (°C)	36,3±1,20	36,0±1,59
Costela direita (°C)	36,5±1,23	35,7±1,83
Diferença entre flancos (°C)	0,59±0,48	0,56±0,40

Tabela 5. Correlações de Pearson entre as variáveis termográficas avaliadas em distintos pontos anatômicos e a produção de calor e de metano diárias de vacas Holandês (H) e Girolando F1 (GH).

Termografia	CH ₄ /dia (valor de p)		PC/dia (valor de p)	
	GH	H	GH	H
<i>Ânus</i>	-0,09 (0,41)	0,39 (<0,05) ^a	0,01 (0,86)	0,26 (0,05) ^a
<i>Costela</i>	0,41 (<0,05) ^a	0,33 (<0,05) ^a	0,14 (0,20)	0,19 (0,12)
<i>Flanco direito</i>	0,33 (<0,05) ^a	0,22 (0,08)	0,14 (0,20)	0,06 (0,64)
<i>Flanco esquerdo</i>	0,33 (<0,05) ^a	0,25 (<0,05) ^a	0,17 (0,13)	0,08 (0,54)
<i>Diferença entre flancos</i>	0,01 (0,89)	-0,01 (0,97)	0,17 (0,12)	0,05 (0,68)
<i>Lábio superior</i>	0,14 (0,18)	0,23 (0,07)	0,07 (0,51)	0,14 (0,26)
<i>Masseter</i>	-0,10 (0,44)	0,22 (0,12)	0,09 (0,51)	0,03 (0,81)
<i>Olho</i>	0,41 (<0,05) ^a	0,48 (<0,05) ^a	0,09 (0,43)	0,33 (<0,05) ^a
<i>Pata</i>	0,08(0,49)	0,18 (0,15)	0,12 (0,27)	0,09 (0,49)
<i>Vulva</i>	0,04 (0,73)	0,39 (<0,05) ^a	-0,04 (0,68)	0,30 (<0,05) ^a

Tabela 6. Correlações de Pearson entre as termografias de diferentes pontos anatômicos e a produção de calor e metano diárias, para vacas Girolando F1.

PRODUÇÃO DE CALOR			
	<i>Termografia</i>	<i>Hora*</i>	<i>Correlação</i>
GIROLANDO F1	Costela	1	0,65**
	Olho	6	0,85**
	Pata	6	0,66**
HOLANDÊS	Ânus	3	0,78**
	Olho	5	0,88**
	Olho	6	0,86**
	Vulva	2	0,75**
PRODUÇÃO DE METANO			
	<i>Termografia</i>	<i>Hora</i>	<i>Correlação</i>
GIROLANDO F1	Diferença entre os flancos	2	0,60**
	Pata	1	0,85**
HOLANDÊS	Diferença entre os flancos	1	0,79**
	Olho	5	0,90**
	Vulva	2	0,73**

* Horas após a alimentação; ** $p < 0,05$.

Tabela 7. Equações de estimação da produção de calor e emissão de metano diárias (e suas razões) através da temperatura de determinados pontos anatômicos em determinadas horas após a alimentação, obtida por termografia infravermelha.

Variável	Hora	Equação	R ²
CH ₄ – GH	6	$y = -723 + 31.85 \text{ Costela}$	0,72*
Calor – GH	1	$y = 4414.2 + 660.7 \text{ Pata}$	0,72*
CH ₄ – H	5	$y = -1036.2 + 40.2 \text{ Olho}$	0,74*
Calor – H	5	$y = -58478 + 2282.2 \text{ Olho}$	0.82*

T: temperatura média do ponto anatômico aferida por termografia infravermelha. *p<0,05

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguerre, M. J. et al. 2011. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *J. Dairy Sci.* 94:3081-3093.

ALFORD, A. R. et al. The impact of breeding to reduce residual feed intake on enteric methane emissions from the Australian beef industry. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 6–7, p. 813–820, 2006.

ALLEN, M. S. Relationship Between Fermentation Acid Production in the Rumen and the Requirement for Physically Effective Fiber. **Journal of Dairy Science**, v. 80, n. 7, p. 1447–1462, 1997.

ASSESSMENT, A L. C. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. **Africa**, p. 98, 2010.

BANNINK, A. et al. Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. **Journal of Theoretical Biology**, v. 238, n. 1, p. 36–51, 2006.

BATH, D. L. Nutritional requirements and economics of lowering feed costs. **Journal of dairy science**, v. 68, n. 6, p. 1579–84, 1985.

BERMAN, A. Thermal comfort range in cattle exposed to near natural climate. **Intrnational Journal of Biometeor**, v. 15, p. 83–84, 1973.

BERMAN, A. Tissue and External Insulation Estimates and Their Effects on Prediction of Energy Requirements and of Heat Stress. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 5, p. 1400–1412, 2004.

BERMAN, A. Extending the Potential of Evaporative Cooling for Heat-Stress Relief. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 10, p. 3817–3825, 2006.

BERMAN, A; HOROVITZ, T. Radiant heat loss, an unexploited path for heat stress reduction in shaded cattle. **Journal of dairy science**, v. 95, n. 6, p. 3021–31, 2012.

BERNDT, A.; TOMKINS, N. W. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal : an international journal of animal bioscience**, v. 7 Suppl 2, p. 363–372, 2013.

BERRY, R. J. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, n. 4, p. 687–693, 2003.

BERTIPAGLIA, E. C. A.; SILVA, R. G. DA; MAIA, A. S. C. Fertility and hair coat characteristics of Holstein cows in a tropical environment. **Animal Reproduction**, v. 2, n. 3, p. 187–194, 2005.

- BIRKELO, C. P.; BROUK, M. J.; SCHINGOETHE, D. J. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 6, p. 1815–1819, 2004.
- BOHMANOVA, J. et al. National genetic evaluation of milk yield for heat tolerance of United States Holsteins. **Interbull Bull**, v. 33, p. 160–162, 2005.
- BOULANT, J. Neural control reception and regulation of body temperature. In: BLATTEIS, C. (Ed.). **Physiology and Pathophysiology of Temperature Regulation**. River Edge, NJ: World Scientific, 2001. p. 94–105.
- BRANTON, C.; MCDOWELL, R. E.; BROWN, M. A. **Zebu-european crossbreeding as a basis of dairy cattle improvement in the USA** *South Cooper Bull*. LA, USA: [s.n.].
- CAMPOS MAIA, A. S.; GOMES DASILVA, R.; BATTISTON LOUREIRO, C. M. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, n. 5, p. 332–336, 2005.
- CASTRO BULLE, F. C. P. et al. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 4, p. 928, 2007.
- COLAK, A. et al. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 11, p. 4244–4248, 2008.
- COLLIER, R.; COLLIER, J. **Environmental Physiology of Livestock**. Singapore: Wiley-Blackwell, 2012.
- COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal Biology of Domestic Animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 513–532, 2015.
- COULTER, G. H.; SENGER, P. L.; BAILEY, D. R. Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. **Journal of reproduction and fertility**, v. 84, n. 2, p. 417–423, 1988.
- DALTRO, D. S. et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 5, p. 374–383, 2017.
- DANIELSSON, R. et al. Methanogenic population and CH₄ production in swedish dairy cows fed different levels of forage. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 17, p. 6172–6179, 2012.
- DIKMEN, S. et al. Differences in Thermoregulatory Ability Between Slick-Haired and Wild-Type Lactating Holstein Cows in Response to Acute Heat Stress. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 9, p. 3395–3402, 2008.

ECKARD, R. J.; GRAINGER, C.; DE KLEIN, C. A. M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. **Livestock Science**, v. 130, n. 1–3, p. 47–56, 2010.

EICHER, S. D. et al. Short Communication: Behavioral and Physiological Indicators of Sensitivity or Chronic Pain Following Tail Docking. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 8, p. 3047–3051, 2006.

ELLIS, J. L. et al. Prediction of Methane Production from Dairy and Beef Cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 7, p. 3456–3466, 2007.

ELLIS, J. L. et al. Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. **Journal of Agricultural Science**, v. 146, n. 2, p. 213–233, 2008.

ELLIS, J. L. et al. Improving the prediction of methane production and representation of rumen fermentation for finishing beef cattle within a mechanistic model. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 94, n. 3, p. 509–524, 2014.

EVEN, P. **Energy Metabolism**. Seattle, WA: Frontiers Media, 2014.

FENBY, D. V. Heat: Its measurement from Galileo to Lavoisier. **Pure and Applied Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 91–100, 1987.

GEBREMEDHIN, K. et al. Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions. **Trans ASABE**, v. 51, n. 6, p. 2167–2178, 2008.

GEBREMEDHIN, K. et al. Physiological responses of dairy cows during extended solar exposure. **Trans ASABE**, v. 53, n. 1, p. 239–247, 2010.

GEBREMEDHIN, K. G.; WU, B. A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer. **Journal of Thermal Biology**, v. 26, n. 6, p. 537–545, 2001.

GOOPY, J. P. et al. Low-methane yield sheep have smaller rumens and shorter rumen retention time. **British Journal of Nutrition**, v. 111, n. 4, p. 578–585, 2014.

HALACHMI, I. et al. Cow Body Shape and Automation of Condition Scoring. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 11, p. 4444–4451, 2008.

HALES, J. R. S. et al. Thermal control of blood flow through capillaries and arteriovenous anastomoses in skin of sheep. **Pflügers Archiv European Journal of Physiology**, v. 378, n. 1, p. 55–63, 1978.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, v. 82–83, p. 349–360, 2004.

HARPER, G. S. Australian Journal of Agricultural Research. **Australian Journal of Agricultural Res**, 1999.

HEGARTY, R. S. et al. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 6, p. 1479–1486, 2007.

- HERD, R. M.; ODDY, V. H.; RICHARDSON, E. C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 4–5, p. 423–430, 2004.
- HOFFMANN, G. et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. **Veterinary Research Communications**, v. 37, n. 2, p. 91–99, 2013.
- HOLMES, C. Genetic merit and efficiency of milk production by the dairy cow. In: GARNSWORTHY, P. C. (Ed.). **Nutrition and Lactation in the Dairy Cow**. Essex, UK: Anchor-Brandon Ltd, 1985. p. 195–215.
- HOOK, S. E.; WRIGHT, A. D. G.; MCBRIDE, B. W. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Archaea**, v. 2010, p. 50–60, 2010.
- HRISTOV, A. N. et al. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5045–5069, 2013.
- JUSTINO, E. et al. The impact of evaporative cooling on the thermoregulation and sensible heat loss of sows during farrowing. **Engenharia Agricola**, v. 34, n. 6, p. 1050–1061, 2014.
- KADZERE, C. T. et al. Heat stress in lactating dairy cows: A review. **Livestock Production Science**, v. 77, n. 1, p. 59–91, 2002.
- KASTBERGER, G.; STACHL, R. Infrared imaging technology and biological applications. **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers**, v. 35, n. 3, p. 429–439, 2003.
- KNAPP, J. R. et al. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 6, p. 3231–3261, 2014.
- KNIZKOVA, I. et al. Applications of Infrared Thermography in Animal Productions. **Anadolu Journal of Agricultural Sciences (Turkey)**, v. 22, n. 3, p. 329–336, 2007.
- KOLLING, G. J. et al. Performance and methane emissions in dairy cows fed oregano and green tea extracts as feed additives. **Journal of Dairy Science**, p. 1–14, 2018.
- LOCKYER, D. R.; CHAMPION, R. A. Methane production by sheep in relation to temporal changes in grazing behaviour. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 86, n. 3, p. 237–246, 2001.
- MACHADO, F. S. et al. Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4899–4906, 2016.
- MAIA, A. S. C.; DASILVA, R. G.; BATTISTON LOUREIRO, C. M. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 50, n. 1, p. 17–22, 2005.

- MARTELLO, L. S. et al. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, p. 173–181, 2016.
- MARTINS, A. D. S.; VIEIRA, P. D. F.; BERCHIELLI, T. T. Revista Brasileira de Zootecnia Taxa de passagem e parâmetros ruminais em bovinos suplementados com Passage rate and ruminal parameters in cattle supplemented with fibrolytic enzymes. 2006.
- MCDONALD, P. et al. Animal nutrition. **Animal nutrition**, p. 365, 2011.
- MCMANUS, C. et al. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10–16, 2016.
- MONTANHOLI, Y. R. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468–475, 2008.
- MONTANHOLI, Y. R. et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22–30, 2009.
- MONTANHOLI, Y. R. et al. Technological, environmental and biological factors: Referent variance values for infrared imaging of the bovine. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 1–16, 2015.
- MOSS, A. **NIOSH Bioeffects of IR.pdf**, 1982.
- MURRAY, P. J. et al. A comparison of systems for measuring methane emissions from sheep. **Journal of Agricultural Science**, v. 133, n. 1999, p. 439–444, 1999.
- NIKKHAH, A. et al. Short Communication: Infrared Thermography and Visual Examination of Hooves of Dairy Cows in Two Stages of Lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 8, p. 2749–2753, 2005.
- NKRUMAH, J. D. et al. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **J Anim Sci**, v. 84, n. 1, p. 145–153, 2006.
- OLSON, T. A. et al. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : Evidence of a major gene influencing hair len. p. 80–90, 2003.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. DE. Determinação Do Conforto Térmico De Vacas Leiteiras Utilizando a Mineração De Dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, n. 2, p. 117–126, 2007.
- PIRES, M.; CAMPOS, A. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em

gado de leite. p. 1–6, 2004.

RAMIN, M.; HUHTANEN, P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 4, p. 2476–2493, 2013.

REKANT, S. I. et al. Veterinary applications of infrared thermography. **American Journal of Veterinary Research**, v. 77, n. 1, p. 98–107, 2016.

RICCI, P. et al. Methane emissions from beef and dairy cattle: p. 1–11, 2013.

ROBERTO, J. V. B. et al. Gradientes térmicos e respostas fisiológicas de caprinos no semiárido brasileiro utilizando a termografia infravermelha. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 1, p. 11–19, 2014.

SALLES, M. S. V. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 62, n. October, p. 63–69, 2016.

SCHAEFER, A. L. et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Research in Veterinary Science**, v. 83, n. 3, p. 376–384, 2007.

SCHINK, B.; ZEIKUS, J. G. Microbial methanol formation: A major end product of pectin metabolism. **Current Microbiology**, v. 4, n. 6, p. 387–389, 1980.

STEWART, M. et al. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related. n. June 2016, p. 387–393, 2008.

SWETT, W.; MATTHEWS, C.; MCDOWELL, R. **Sindhi-Jersey and Sindhi-Holsteins crosses, their external form and internal anatomy compared to those of Jerseys and Holsteins**. Washington, DC: [s.n.].

THOMPSON, J. R. et al. Evaluation of a Linearized Type Appraisal System for Holstein Cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 66, n. 2, p. 325–331, 1983.

TOKURA, M. et al. Phylogenetic study of methanogens associated with rumen ciliates. **Current Microbiology**, v. 39, n. 3, p. 123–128, 1999.

WEBSTER, A. J. F. Prediction of the energy requirements for growth in beef cattle. **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 30, p. 189–226, 1978.

YEATES, N. Influence of nutritional state on the heat tolerance of cattle. **Nature**, v. 178, p. 702–703, 1956.

YOUNG, B. A. Temperature-induced changes in metabolism and body weight of cattle (*Bos taurus*). **Canadian journal of physiology and pharmacology**, v. 53, n. 5, p. 947–53, 1975.

CAPÍTULO III

1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A termografia infravermelha, uma técnica não-invasiva e que necessita de contenção animal mínima, tem potencial para ser aplicada como indicador indireto da produção de calor e da emissão de metano em vacas leiteiras da raça Holandês e Girolando F1. Conforme visto nos resultados, os pontos anatômicos diferiram quanto às correlações com a produção de metano e de calor entre as diferentes composições raciais, demonstrando que não é recomendável extrapolar os métodos utilizados para animais da raça Holandês, para animais Girolando F1.

Um dos pontos mais interessantes do trabalho é a definição do melhor ponto anatômico e do melhor horário (dentre os avaliados) para se realizar a termografia infravermelha. Com isso, o manejo é facilitado, tanto para o operador quanto para os animais, que não precisam ter a rotina interrompida por muito tempo. A grande maioria dos trabalhos com termografia infravermelha realizados até então utilizam-se do valor médio da temperatura oriunda de imagens termográficas tomadas por diversas horas seguidas, ou apenas indicam realizar em um determinado momento, sem explicar por que. Através do nosso trabalho, pudemos verificar realmente qual é o melhor horário para se atingir a maior correlação, tanto com a produção de calor quanto com a produção de metano.

Com os resultados obtidos tendo sido promissores, pode ser interessante aprofundar os estudos com essa técnica, avaliando por exemplo, efeitos de dietas ou mesmo de diferentes categorias. Por se tratar de uma tecnologia de precisão, há a possibilidade de desenvolvimento de dispositivos termográficos que possam ser acoplados nos sistemas de produção de bovinos, para monitoramento dessas variáveis. A termografia infravermelha é uma tecnologia que pode ser utilizada para diversos fins e,

acredito eu, sua aplicabilidade é promissora, tanto em quesitos sanitários e reprodutivos quanto zootécnicos.

2 REFERÊNCIAS

AGNEW, R. E.; YAN, T. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. **Livestock Production Science**, Oxford, UK, v. 66, n. 3, p. 197-215, 2006.

AGUERRE, M. J. et al. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 94, n. 6, p. 3081-3093, 2011.

ALFORD, A. R. et al. The impact of breeding to reduce residual feed intake on enteric methane emissions from the Australian beef industry. **Aust. J. Exp. Agric.**, Melbourne, v. 46, n. 7, p. 813-820, 2006.

ALLEN, M. S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 80, n. 7, p. 1447-1462, 1997.

ALSAOOD, M.; BUSCHER, W. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 95, n. 2, p. 735-742, 2012.

BANNIK, A. et al. Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, v. 238, n. 1, p. 36-51, 2006.

BATH, D. L. Nutritional requirements and economics of lowering feed costs. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 68, n. 6, p. 1579-1584, 1985.

BERMAN, A.; HOROVITZ, T. Radiant heat loss, an unexploited path for heat stress reduction in shaded cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 95, n. 6, p. 3021-3031, 2012.

BERMAN, A. Thermal comfort range in cattle exposed to near natural climate. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 15, p. 83-84, 1973.

BERMAN, A. Tissue and external insulation estimates and their effects on prediction of energy requirements and of heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 87, n. 5, p. 1400-1412, 2004.

BERNDT, A.; TOMKINS, N. W.. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal**, Cambridge, v. 7, n. 2, p. 363-372, 2013.

BERRY, R. J. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, n. 4, p. 687-693, 2003.

BERTIPAGLIA, E. C. A.; DA SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. Fertility and hair coat

- characteristics of Holstein cows in a tropical environment. **Animal Reproduction**, Belo Horizonte, v. 2, n. 3, p. 187-194, 2005.
- BIRKELO, C. P.; BROUK, M. J. e SCHINGOETHE, D. J.. The energy content of wet corn distiller's grains for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, IL, v. 87, n. 6, p. 1815-1819, 2004.
- BOHMANOVA, J. et al. National genetic evaluation of milk yield for heat tolerance of United States Holsteins. **Interbull Bull**, n. 33, p. 160-162, 2005.
- BOULANT, J. Neural control reception and regulation of body temperature. In: BLATTEIS, C. (Ed.). **Physiology and Pathophysiology of Temperature Regulation**. River Edge, NJ: World Scientific, 2001. p. 94-105.
- CAMPOS MAIA, A. S.; da SILVA, R. G. e LOUREIRO, C. M. B.. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 49, n. 5, p. 332-336, 2005.
- CAMPOS MAIA, S. C.; da SILVA, R. G. e BATTISTON LOUREIRO, C. M.. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 50, n. 1, p. 17-22, 2005.
- CASTRO BULLE, F. C. P. et al. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 85, n. 4, p. 928-936, 2007.
- COLAK, A. et al. Short communication: Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 4244-4248, 2008.
- COLLIER, R.; COLLIER, J. **Environmental physiology of livestock**. Singapore: Wiley-Blackwell, 2012.
- COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, Palo Alto, CA, v. 3, p. 513-532, 2015.
- COULTER, G. H.; SENGER, P. L. e BAILEY, D. R.. Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. **Journal of Reproduction and Fertility**, Cambridge, v. 84, n. 2, p. 417-423, 1988.
- DALTRO, D. S. et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 46, n. 5, p. 374-383, 2017.
- DANIELSSON, R. A. et al. Methanogenic population and CH₄ production in Swedish dairy cows fed different levels of forage. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 78, n. 17, p. 6172-6179, 2012.

DIKMEN, S. et al. Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating Holstein cows in response to acute heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 9, p. 3395-3402, 2008.

ECKARD, R. J.; GRAINGER, C. e de KLEIN, C. A. M.. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. **Livestock Science**, Oxford, v. 130, n. 1-3, p. 47-56, 2010.

EICHER, S. D. et al. Short Communication: Behavioral and physiological indicators of sensitivity or chronic pain following tail docking. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 8, p. 3047-3051, 2006.

ELLIS, J. L. et al. Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 146, n. 2, p. 213-233, 2008.

ELLIS, J. L. et al. Improving the prediction of methane production and representation of rumen fermentation for finishing beef cattle within a mechanistic model. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 94, n. 3, p. 509-524, 2014.

ELLIS, J. L. et al. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 7, p. 3456-3466, 2007.

EVEN, P. **Energy Metabolism**. Seattle, WA: Frontiers Media, 2014.

FENBY, D. V. Heat: Its measurements from Galileo to Lavoisier. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 59, n. 1, p. 91-100, 1987.

FINLAY, B. J. et al. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 117, n. 2, p.157-162, 1994.

GARNSWORTHY, P. C. et al. On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 6, p. 3166-3180, 2012.

GEBREMEDHIN, K. et al. Physiological responses of dairy cows during extended solar exposure. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Saint Joseph, v. 53, n. 1, p. 239-247, 2010.

GEBREMEDHIN, K. et al. Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Saint Joseph, v. 51, n. 6, p. 2167-2178, 2008.

GEBREMEDHIN, K. G.; WU, B. A model for evaporative cooling of wet skin surface and fur layer. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 26, n. 6, p. 537-545, 2012.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: the challenge of feeding 9 billion

people. **Science**, New York, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GOOPY, J. P. et al. Low-methane yield sheep have smaller rumens and shorter rumen retention time. **The British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 111, n. 4, p. 578-585, 2014.

HALACHMI, I. P. et al. Cow body shape and automation of condition scoring. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 4444-4451.

HALES, J. R. S. et al. Thermal control of blood flow through capillaries and arteriovenous anastomoses in skin of sheep. **Pflugers Arch**, Berlin, v. 15, n. 1, p.55-63, 1978.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 82-83, p. 349-360, 2004.

HEGARTY, R. S. et al. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 85, n. 6, p. 1479-1486, 2007.

HERD, R. M.; ODDY, V. H. e RICHARDSON, E. C.. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 44, n. 5, p. 423-430, 2004.

HOFFMANN, G. et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. **Veterinary Science Communications**, Amsterdam, v. 37, n. 2, p. 91-99, 2013.

HOLMES, C. Genetic merit and efficiency of milk production by the dairy cow. In: GARNSWORTHY, P. C. (Ed.). **Nutrition and Lactation in the Dairy Cow**. Essex, UK: Anchor-Brandon Ltd, 1985. p. 195-215.

HOLTER, J. B.; YOUNG, A. J. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, n. 8, p. 2165-2175, 1992.

HOOK, S. E.; WRIGHT, A. D. G. e McBRIDE, B. W.. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. **Archaea**, New York, v. 2010, p. 50-60, 2010.

HRISTOV, A. N. et al. Special-Topics – Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 5045-5069, 2013.

JANSSEN, P. H.; KIRS, M. Structure of the archaeal community of the rumen. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 74, n. 12, p. 3619-3625.

JUSTINO, E. et al. The impact of evaporative cooling on the thermoregulation and sensible heat loss of sows during farrowing. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1050-1061, 2014.

KADZERE, C. T. et al. Heat stress in lactating dairy cows: A review. **Livestock Production Science**, Oxford, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002.

KASTBERGER, G.; STACHL, R. Infrared imaging technology and biological applications. **Behav Res Methods Instrum Comput**, Austin, v. 35, n. 3, p. 429-439, 2003.

KNAPP, J. R. et al. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, n. 6, p. 3231-3261, 2014.

KNÍZKOVÁ, I. P. et al. Applications of infrared thermography in animal production. **J. Fac. Agric.**, Praga, v. 22, n. 3, p. 329-336, 2007.

KOLLING, G. J. et al. Performance and methane emissions in dairy cows fed oregano and green tea extracts as feed additives. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 18, p. 1-14, 2018.

KONG, Y. et al. Biodiversity and composition of methanogenic populations in the rumen of cows fed alfalfa hay or triticale straw. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 84, n. 2, p. 302-315, 2013.

LASSEN, J.; LØVENDAHL, P. e MADSEN, J.. Accuracy of noninvasive breath methane measurements using Fourier transform infrared methods on individual cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 2, p. 890-898, 2012.

LOCKYER, D. R.; CHAMPION, R. A. Methane production by sheep in relation to temporal changes in grazing behavior. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 86, p. 237-246, 2001.

MACHADO, F. S. et al. Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, n. 6, p. 4899-4906, 2016.

MARTELLO, L. S. et al. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 60, n. 1, p. 173-181, 2016.

MARTINS, A. D. S.; VIEIRA, P. D. F. e BERCHIELLI, T. T.. Passage rate and ruminal parameters in cattle supplemented with fibrolytic enzymes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 1186-1193, 2006.

McDONALD, P. et al. **Animal Nutrition**. 7. ed. [S.l.]: Pearson, 2012.

McMANNUS, C. et al. Infrared thermography in animal production: A review.

Computers and Eletronicns in Agriculture, Amsterdam, v. 123, p. 10-16, 2016.

MONTANHOLI, Y. R. et al. Application of infrared thermography as na indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 33, n. 8, p. 468-475, 2008.

MONTANHOLI, Y. R. et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrassound traits in beef bulls. **Livestock Science**, Oxford, v. 125, n. 1, p. 22-30, 2009.

MONTANHOLI, Y. R. et al. Technological environmental and biological factors: Referent variance values for infrared imaging of the bovine. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, London, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2015.

MOSS, C. E. et al. **Biological effects of infrared radiation**. Cincinnati: US Department of Health and Human Services, 1982. Technical Report.

MURRAY, P. J. et al. A comparison of systems for measuring methane emissions from sheep. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 60, n. 1-3, p. 93-97, 2001.

NIKKAH, A. et al. Short communication: Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 8, p. 2749-2753, 2005.

NKRUMAH, J. D. et al. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 84, n. 1, p. 145-153, 2006.

OLSON, T. A. et al. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos Taurus* cattle. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 81, n. 1, p. 80-90, 2003.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Eng. Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

PIRES, M.; CAMPOS, A. **Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite**. Juiz de Fora: Embrapa, 2004. p. 1-6.

RAMIN, M.; HUHTANEN, P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 96, n. 4, p. 2476-2493, 2013.

REKANT, S. I. et al. Veterinary applications of infrared thermography. **American Journal of Veterinary Research**, Chicago, v. 77, n. 1, p. 98-107, 2016.

RICCI, P. et al. Methane emissions from beef and dairy cattle: quantifying the effects of physiological stage and diet characteristics. **Journal of Animal Sciences**, Oxford, v. 91, n. 1, p. 5379-5389, 2013.

ROBERTO, J. V. B. et al. Gradientes térmicos e respostas fisiológicas de caprinos no semiárido brasileiro utilizando a termografia infravermelha. **Journal of Animal and Biometeorology**, Mossoró, v. 2, n. 1, p. 11-19, 2014.

SALLES, M. S. V. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 62, p. 63-69, 2016.

SCHAEFER, A. L. et al. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, n. 1, p. 73-80, 2004.

SCHAEFER, A. L. et al. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. **Research in Veterinary Science**, London, v. 93, n. 2, p. 928-935, 2012.

SCHINK, B.; ZEIKUS, J. G. Microbial methanol formation: A major end product of pectin metabolism. **Current Microbiology**, New York, v. 4, n. 6, p. 387-389, 1980.

SMITH, J. et al. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. **Animal Frontiers**, *online*, v. 3, n. 1, p. 6-13.

STEWART, M. et al. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related. **Animal Welfare**, Hertfordshire, v. 17, n. 4, p. 319-325, 2005.

SWETT, W.; MATTHEWS, C. e McDOWELL, R.. **Sindhi-Jersey and Sindhi-Holstein crosses, their external form and internal anatomy compared to those of Jerseys and Holsteins**. [S.l.]: US Department of Agriculture, 1961. Technical Bulletin, 1256.

TALUKDER, S. et al. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, New York, v. 81, n. 7, p.925-935, 2014.

THOMPSON, J. R. et al. Evaluation of a linearized type appraisal system for Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, n. 2, p. 325-331, 1983.

TOKURA, M. et al. Methanogens associated with rumen ciliates. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 22, n. 2, p. 137-143, 1997.

TOKURA, M. et al. Phylogenetic study of methanogens associated with rumen ciliates. **Current Microbiology**, New York, v. 39, n. 3, p. 123-128, 1999.

UNGERFELD, E. M. et al. Effects of two lipids on *in vitro* ruminal methane production. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 119, n. 1-2, p. 179-185, 2005.

USHIDA, K.; NEWBOLD, C. J. e JOUANY, J. P. Interspecies hydrogen transfer between the rumen ciliate *Polyplastron multivesiculatum* e *Methanosarcina barkeri*. **Journal of General and Applied Microbiology**, Tokyo, v. 43, n. 2, p. 129-131, 1997.

WEBSTER, A. J. F. Prediction of the energy requirements for growth in beef cattle. **World Review of Nutrition and Dietetics**, London, v. 30, p. 189-226, 1978.

WILLIAMS, A. G.; COLEMAN, G. S. The rumen protozoa. In: HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. (Ed.). **The Rumen Microbial Ecosystem**. 2. ed. London: Blackie Academic and Professional, 1997. p. 73-139.

YEATES, N. Influence of nutritional state on the heat tolerance of cattle. **Nature**, London, v. 178, p. 702-703, 1956.

YOUNG, B. Temperature-induced changes in metabolism and body weight of cattle (*Bos Taurus*). **Canadian Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v. 53, n. 5, p. 947-953, 1975.

ZINDER, S. H. Physiological ecology of methanogens. In: FERRY, J. G. (Ed.). **Methanogens, Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics**. New York: Chapman & Hall, 1993. p. 128-206.

3 APÊNDICES

3.1 Normas *Journal of Animal Sciences*

Manuscript Preparation (Style And Form)

The most important thing authors can do as they prepare their manuscripts is to consult recent published articles in JAS. Manuscripts that are not consistent with the Instructions for Authors will be returned to the authors without review.

General

Manuscripts must be written in English and must use American spelling and usage, as well as standard scientific usage.

Manuscripts should be prepared double-spaced in Microsoft Word, with lines and pages numbered consecutively, using Times New Roman font at 12 points and no less than 2.54-cm (1 inch) margins all around (do not right justify articles). Special characters (e.g., Greek and symbols) should be inserted using the symbols palette available in this font. Complex equations should be entered using Math-Type (<http://www.dessci.com/en/products/mathtype/>) or LaTeX. Tables and figures should be placed in separate sections at the end of the manuscript, and not placed in the text. Tables and figures should be grouped together (tables together and figures together) Manuscripts should be uploaded to Thomson Reuters ScholarOne Manuscripts using the fewest files possible to facilitate the review and editing processes.

Manuscripts should contain the following sections in this order.

Title Page

The title page includes:

1. A running head (the first word only and any proper nouns capitalized and no more than 45 keystrokes [i.e., characters and spaces; a space is counted as a keystroke]);
2. The title (only the first word and any proper nouns capitalized).
3. Names of authors (e.g., John E. Ethredge; no title, positions, or degrees) and institutions, including
4. the department, city, state or country (all with first letters capitalized), and ZIP or postal code.
5. Author affiliations are footnoted using the symbols *, †, ‡, §, #, ||, and ¶ and are placed below the author names. If a consortium is listed in the byline, a footnoted reference to a website showing the names and affiliations of each member of the consortium should be included in acknowledgements; names and affiliations of each member of the consortium will not be listed on the title page. Superscript numbers are used to reference footnotes on the first page.
6. Acknowledgments, including acknowledgements of consortia, grants, experiment station, or journal series number, are given as a footnote to the title.
7. Authors disclosing potential or actual conflicts of interest related to the research presented in the manuscript should describe this in a footnote with other acknowledgements (for details, see Conflict of Interest).

Abstract

ABSTRACT consists of no more than 2,500 keystrokes (characters and spaces) in one paragraph and contains a summary of the pertinent results, with statistical evidence (i.e., P-values), in a brief but understandable form. Abbreviations in the abstract must be defined at first use. Abbreviations in the abstract must be re-defined in the body of the manuscript.

Key words

List up to 6 key words. Key words should be in alphabetical order and separated by commas. The first letter of each key word is lowercase, unless it is a proper noun, and no abbreviations should be used.

Introduction

INTRODUCTION should contain a justification for conducting the research, the hypotheses to be tested, and the objective(s).

Materials and Methods

MATERIALS AND METHODS is a required section and must contain a clear description or specific original reference for all biological, analytical, and statistical procedures, and the threshold (e.g. $P < 0.05$) for significance should be listed. Appropriate statistical methods should be used, although the biology should be emphasized. The experimental unit is the smallest unit to which an individual treatment is imposed. Measurements on the same experimental unit over time are not independent and should not be considered as independent experimental units. Sex, age, species, breed names should be listed. Manufacturer information must be provided at the first mention of each proprietary product used in the research (for details see, Commercial Products). Provide a validation for assays (e.g., mean and CV for repeated analysis of a sample [both between and within-assay if available] and the sensitivity [minimum amount or concentration detectable]). Also, provide a publication reference for the methods.

Results

RESULTS are presented in the form of tables or figures when feasible. The text should explain or elaborate on the tabular data, but numbers should not be repeated within the text. Sufficient data, all with some index of variation attached, including significance level (e.g., $P = 0.042$ or $P < 0.05$), should be presented to allow readers to interpret the results of the experiment. Reporting the P-value is preferred to the use of the terms significant and highly significant, which are more editorial than quantitative descriptions. Thus, the P-value (e.g., $P = 0.042$ or $P < 0.05$) should be presented, thereby allowing readers to decide what to reject. Other probability (alpha) levels may be discussed if properly qualified so that the reader is not misled (e.g., trends in the data).

Discussion

DISCUSSION contains the interpretations of the results of the study. The presentation should be clear and concise, address biological mechanisms and their significance, and integrate the research findings with the body of previously published literature to provide readers with a broad base on which to evaluate the author's, or authors', interpretations and assertions. The discussion must be consistent with the data from the research. Authors should limit speculation. A

stand-alone DISCUSSION should not refer to any tables or figures, nor should it include P-values, unless citing a P-value from another work.”

Results and Discussion

RESULTS AND DISCUSSION. In JAS, authors have the option of combining the results and discussion into one section.

Literature Cited

To be listed in LITERATURE CITED, papers must be published or accepted for publication (“in press”).

Citations in the Text

In the body of the manuscript, refer to authors as follows: Smith and Jones (1992) or Smith and Jones (1990, 1992). If the sentence structure requires the authors' names to be included in parentheses, the proper format is (Smith and Jones, 1982; Jones, 1988a,b; Jones et al., 1992, 1993). When there are more than 2 authors of an article, the first author's name is followed by the abbreviation et al. More than 1 article listed in the same sentence or parentheses must be in chronological order first and alphabetical order for 2 publications in the same year.

FORMAT FOR REFERENCES:

Journal articles

Perez, V. G., A. M. Waguespark, T. D. Bidner, L. L. Southern, T. M. Fakler, T. L. Ward, M. Steidinger, and J. E. Pettigrew. 2011. Additivity of effects from dietary copper and zinc on growth performance and fecal microbiota of pigs afterweaning. *J. Anim. Sci.* 89:414–425. doi:10.2527/jas.2010-2839.

Abstracts

Centon, J. R., G. E. Erickson, T. J. Klopfenstein, K. J. Vander Pol, and M. A. Greenquist. 2007. Effects of roughage source and level in finishing diets containing wet distillers grains on feedlot performance. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):76. (Abstr.) doi:10.2527/jas.2006-354.

(NOTE: The doi is now considered part of a citation.)

Books and chapters in books

AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.

NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Robinson, P. H., E. K. Okine, and J. J. Kennelly. 1992. Measurement of protein digestion in ruminants. In: S. Nissen, editor, *Modern methods in protein nutrition and metabolism*. Academic Press, San Diego, CA. p. 121–127.

Conference proceedings

Bailey, E. A., J. R. Jaeger, J. W. Waggoner, G. W. Preedy, L. A. Pacheco, and K. C. Olson. 2012. Effect of weaning method on welfare and performance of beef calves during receiving. *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.* 63:25-29.

Tables and Figures

Tables and figures must be prepared so they can be understood without referring to information in the body of the manuscript. Tables and figures shall be placed at the end of the manuscript. Each table and each figure shall be placed on a separate page (separated with section breaks) and identified with table and figure numbers. Author-defined abbreviations must be defined in each table and figure. Manufacturer name and location must be provided for any proprietary product appearing in a table or figure. Tables must be created using the table feature in MS Word. Each column must have a heading (e.g., Item, Ingredient, Trait, Fatty acid). Units (e.g., kg) should be separated from headings by a comma, rather than being shown in parentheses. In the body of the table, numerals are used to reference footnotes. Each footnote should begin on a new line. Lowercase, superscript letters are used to indicate significant differences among means within a row or column and to reference footnotes explaining how to interpret the letters. Figure captions should be typed double-spaced on a separate page. For examples, please see a current issue of JAS.

Appendices

An appendix or appendices are optional and used to provide numerical examples or give extensive detail of analytical procedures. However, if the supplemental material is of interest only to a limited number of JAS readers, it should not be included as an appendix. Instead, state that supplemental information is available on request from the corresponding author; addresses for websites with appropriate supplemental information are acceptable. If extensive, the data may be included as an e-supplement to the manuscript (see E-Supplements). Appendices should follow LITERATURE CITED and be introduced with a major heading (e.g., APPENDIX 1: TITLE). E-Supplements. Authors may present material in an e-supplement (e.g., detailed data sets, Excel files, and video) that is more extensive or detailed than necessary for a JAS article. A note will appear in the JAS article that more material can be found online. Material in an e-supplement must undergo peer review and, thus, should be in a format that is easily accessible (i.e., does not require dedicated software or software that is not generally available) to most reviewers and readers.

Additional Usage Notes

Abbreviations

The *Journal of Animal Science* discourages the overuse of abbreviations. Author defined abbreviations may used, but must be defined in the abstract, defined at first use in the body of the manuscript, in each table and figure. Avoid starting a sentence with an abbreviation. The standard abbreviations for weights and measures (see below) may be used without author definition (units of time may only be abbreviated when used with a number).

Quantitative Trait Loci and DNA Markers and Microarray Data

Authors of papers that contain original quantitative trait loci (QTL) or DNA marker association results for livestock are strongly encouraged to make their data available in an electronic form to one of the publicly available livestock QTL databases after the manuscript appears on the JAS Advance Articles website (<https://academic.oup.com/jas/advance-articles>). The date on which the paper is posted to the TAS-Papers in Press website may represent the official public disclosure date for the contents of the article. Similarly, for microarray data,

authors are encouraged to submit a complete dataset to an appropriate database.

Commercial Products

The use of names of commercial products should be minimized. When a commercial product is used as part of an experiment, the manufacturer name and location (city and state if in the US; city, administrative region or district [e.g., province], and country if outside the US) or a website address must be given parenthetically at first mention in text, tables, and figures. The generic name should be used subsequently. No TM, ®, or © symbols should be used.

POLICIES AND PROCEDURES OF JAS

The mission of the American Society of Animal Science (ASAS) is to “foster the discovery, sharing, and application of scientific knowledge concerning the responsible use of animals to enhance human life and wellbeing” (<https://asas.org/about-asas/history-and-mission>).

The Journal of Animal Science, which is published monthly by ASAS, accepts manuscripts presenting information for publication with this mission in mind.

The Editor-in-Chief, Managing Editor, and Section Editors establish the editorial policies of JAS, subject to review by the publications committee and ASAS Board of Directors. The views expressed in articles published in JAS represent the opinions of the author(s) and do not necessarily reflect the official policy of the institution with which an author is affiliated, the ASAS, or the JAS Editor-in-Chief. Authors are responsible for ensuring the accuracy of collection, analysis, and interpretation of data in manuscripts and ultimately for guaranteeing the veracity of the contents of articles published in JAS.

VITA

Anne Rosi Guadagnin, filha de Valmor José Guadagnin e Ana Maria Colognese Guadagnin, brasileira nascida na cidade de Putinga, Rio Grande do Sul no dia oito de junho de 1992. Realizou o Ensino Fundamental e Médio na Escola Estadual Padre Domênico Carlino – Putinga/RS, finalizados em dezembro de 2009. Em agosto de 2010, iniciou a graduação em Medicina Veterinária na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, formando-se em dezembro de 2015. Durante a graduação, estagiou no Hospital de Clínicas Veterinárias; no Setor de Medicina de Grandes Ruminantes; no Laboratório de Helmintoses; no Laboratório de Inspeção e Tecnologia de Leite e Derivados, Ovos e Mel. Foi também monitora acadêmica das disciplinas de Bioquímica Aplicada à Veterinária e de Melhoramento Animal, e foi monitora voluntária da disciplina de Parasitologia Clínica. Realizou o estágio curricular obrigatório na Universidade de Illinois em Urbana-Champaign (IL, EUA), de agosto a novembro de 2015. Em abril de 2016, iniciou o Mestrado Acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.