

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada:
desempenho térmico, zootécnico e o nível de bem-estar animal

Paulo Rogério Garcia

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2017

Paulo Rogério Garcia
Bacharel em Ciências Biológicas

Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada: desempenho térmico, zootécnico e o nível de bem-estar animal

Orientador:
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Garcia, Paulo Rogério

Gapão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada: desempenho térmico, zootécnico e o nível de bem-estar animal / Paulo Rogério Garcia. - - Piracicaba, 2017.

149 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Conforto térmico 2. Variabilidade espacial 3. Bem-estar animal 4. Bovinos de leite L. . I. Título

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - A Gloriosa

Ao **Programa de pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas e ao Núcleo de Pesquisa em Ambiência (NUPEA)**, pela oportunidade de realização deste estudo, em especial a **Davilmar**, sempre me socorrendo com muita paciência.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor **Dr. Iran José de Oliveira da Silva**, pela oportunidade, ensinamentos, amizade, e orientação, tanto profissional quanto pessoal.

À equipe de pesquisadores do NUPEA – **Aérica Nazareno, Ana Carolina Donofre, Danielle Fernandes, Karina Suemi, Miguel Machado, Patrycia Sato, Natália Benincasa, e a estimada Dona Ilze Helena** - pelos momentos de profissionalismo e de descontração diários e em especial à **Aérica Nazareno, Ana Carolina Donofre e Danielle Fernandes**, pela força excepcional na etapa final da elaboração deste trabalho.

Aos amigos **Adriano Fernades, Karina, Guilherme Novaes, Guilherme Tavares e Natália Benincasa** pela importante ajuda na realização deste trabalho.

Ao proprietário **Seu Jorge** e a secretária **Gisele** por abrirem as portas da Fazenda para a realização dessa pesquisa.

A Professora **Renata Alcarde**, pela paciência e disposição.

Ao doutorando **Djair**, pela grande paciência de refazer dezenas de vezes meus dados, e passar um bom tempo discutindo geoestatística por mensagens.

Aos meus pais, **Adalta Marani e Paulo Adalberto Garcia** pelo exemplo de vida, e por não medirem esforços para que eu chegasse até aqui.

Ao **Guilherme Novaes, Danielle Fernandes, Leticia Corniani e Jeronymo Dalapicola** por serem vocês.

Aos meus irmãos da **gloriosa REPÚBLICA R.A. BIOSFERA** e a **Dona Graça** pelos anos de tantas alegrias e companheirismo.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. HIPÓTESE.....	12
1.2. OBJETIVO.....	13
1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
1.3.1. Instalações para confinamento de bovino leiteiro	14
1.3.1.1. Galpão freestall convencional com laterais abertas	14
1.3.1.2. Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada	16
1.3.1.3. Recentes publicações referentes às instalações de confinamento.....	21
1.3.2. Exigências microclimáticas e ambientais do sistema de produção leiteiro	24
1.3.2.1. Temperatura e umidade relativa do ar.....	24
1.3.2.2. Índices de conforto térmico.....	26
1.3.2.3. Velocidade do vento.....	31
1.3.3. Geoestatística para avaliação do microclima na produção animal	32
1.3.4. Considerações Finais	34
REFERÊNCIAS.....	36
2. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DE GALPÕES FREESTALL DE LATERAIS ABERTAS E FECHADAS	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50
2.1. INTRODUÇÃO.....	51
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	52
2.2.1. Caracterização dos galpões freestall para confinamento de vacas leiteiras	52
2.2.1.1. Galpão freestall aberto com aspersores e ventiladores (FVA).....	53
2.2.1.2. Galpão freestall fechado com sistema de ventilação cruzada (LPCV)	54
2.2.2. Avaliação bioclimática	58
2.2.2.1. Monitoramento dos atributos microclimáticos	58
2.2.2.2. Índices de conforto térmico.....	60
2.2.3. Análise dos dados	61
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
2.3.1. Caracterização geral do ambiente externo.....	62
2.3.2. Comparação das variáveis climáticas entre o ambiente externo e os galpões de confinamento.....	65
2.3.2.1. Médias dos turnos para cada estação	65
2.3.2.2. Mínimas, máximas, amplitude e dispersão dos dados.....	70
2.3.2.3. Porcentagem de ocorrências.....	74
2.3.2.4. Faixas externas de temperatura e umidade relativa do ar	76
2.4. CONCLUSÕES PARCIAIS	80

REFERÊNCIAS.....	81
3. EXISTE VARIABILIDADE ESPACIAL DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS E FÍSICAS NO INTERIOR DE GALPÕES FREESTALL DE LATERAIS ABERTAS E FECHADAS ?	86
RESUMO.....	86
ABSTRACT	86
3.1. INTRODUÇÃO.....	87
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	88
3.2.1. <i>Caracterização dos galpões freestall para confinamento de vacas leiteiras</i>	<i>88</i>
3.2.1.1. <i>Variabilidade espacial dos atributos microclimáticos e físicos do sistema de produção.....</i>	<i>89</i>
3.2.1.2. <i>Malha regular para coleta de dados</i>	<i>90</i>
3.2.1.3. <i>Índices de conforto térmico.....</i>	<i>91</i>
3.2.1.4. <i>Análise geoestatística.....</i>	<i>92</i>
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
3.3.1. <i>Temperatura de bulbo seco.....</i>	<i>95</i>
3.3.2. <i>Umidade relativa do ar.....</i>	<i>101</i>
3.3.3. <i>Velocidade do vento.....</i>	<i>105</i>
3.3.4. <i>Índice de Temperatura e Umidade</i>	<i>109</i>
3.3.5. <i>Entalpia específica do ar</i>	<i>114</i>
3.3.6. <i>Nível de ruído</i>	<i>118</i>
3.3.7. <i>Iluminância</i>	<i>121</i>
3.4. CONCLUSÕES PARCIAIS	123
REFERÊNCIAS.....	125
4. PONTOS CRÍTICOS ZOOTÉCNICOS E DE BEM-ESTAR DE BOVINOS LEITEIROS CRIADOS NO SISTEMA LPCV	130
RESUMO.....	130
4.1. INTRODUÇÃO.....	130
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	132
4.2.1. <i>Avaliação do nível de bem-estar animal (BEA)</i>	<i>132</i>
4.2.1.1. <i>Seleção dos animais.....</i>	<i>133</i>
4.2.1.2. <i>Variáveis resposta para avaliar BEA</i>	<i>133</i>
4.2.2. <i>Avaliação dos índices zootécnicos</i>	<i>136</i>
4.2.3. <i>Análise estatística</i>	<i>137</i>
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	137
4.4. CONCLUSÕES PARCIAIS.....	145
REFERÊNCIAS.....	146
5. CONCLUSÃO GERAL	150

RESUMO

Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada: desempenho térmico, zootécnico e o nível de bem-estar animal

O confinamento de bovinos leiteiros de alto padrão genético em instalações climatizadas do tipo freestall é uma das principais alternativas adotadas pelos produtores com a finalidade de mitigar os efeitos do estresse térmico. Neste cenário, o galpão freestall de laterais fechadas com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada, em inglês *low-profile cross-ventilated freestall* (LPCV), é um novo conceito no sistema de produção de leite. Não há muita informação na literatura científica sobre o uso desta tipologia para confinamento de vacas holandesas em região de clima quente e úmido, caso o Brasil. Portanto, os objetivos desse estudo foram avaliar o desempenho térmico, ambiental, zootécnico, produtivo e o nível de bem-estar animal proporcionado por um galpão LPCV, para alojamento de vacas holandesas lactantes, em comparação a um galpão freestall convencional, em que a ventilação natural esta associada ao uso de ventiladores e aspersores (FVA). Verificou-se que o LPCV promoveu um maior controle do microclima interno, registrando menores amplitudes e maior redução do tempo de exposição dos animais a condições térmicas estressantes, comparado ao galpão FVA. As variáveis apresentaram uma dispersão gradiente no sentido transversal do galpão LPCV, porém a amplitude desta variação espacial foi baixa. Além disso, os animais apresentaram um adequado nível de bem-estar animal e melhora nos índices zootécnicos. Desse modo, conclui-se que a utilização do galpão freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada foi mais eficiente que o galpão freestall convencional para confinamento de vacas holandesas em lactação, nas condições ambientais estudadas, considerando as questões de controle das variáveis físicas do ambiente interno, de aspectos zootécnicos e de bem-estar animal.

Palavras-chave: Conforto térmico; Variabilidade espacial; Bem-estar animal; Bovinos de leite.

ABSTRACT

Low-Profile Cross-Ventilated freestall: thermal, zootechnical and animal welfare performance

The Holstein dairy cattle feedlot in the freestall facilities is one of the alternatives adopted by producers in order to reduce the effect of heat stress. In this scenario, low-profile cross-ventilated freestall (LPCV) is a new concept in milk production system. The cross-ventilation system is based on controlling and directing cooling air. The facility design is different to conventional barns with the main differences being fully closed side. The height of the side walls is identical in both types of facilities, but because there's less roof slope, the height at the center of the barn is lower in the LPCV, thus the name low-profile. There is not much information in the literature about the use of the barns with an evaporative cooling system and cross ventilation. Since the use of this system is recent, this study will seek to evaluate the thermal performance, environmental, livestock, production and animal welfare level provided by a low-profile cross-ventilated freestall for housing dairy cows in hot climate and region humid in Brazil. Therefore, the aim of this study was to evaluate temperature, humidity, thermal comfort indexes, air velocity, noise level and luminosity of a LPCV barn comparing to a conventional freestall barn with natural ventilation associated with fans and sprinklers (FVA). External environment was included as a control group. Another objective was to describe animal welfare using animal-based measurements (body cleansing, hock injuries, lameness, respiratory rate, nasal discharge), and also to evaluate productive and zootechnical indexes provided by the farm, before and after the adoption of this system. LPCV system proved to be more effective in controlling internal environment in more stressful external conditions, temperature above 30°C. and relative air humidity above 70%. The variables within the LPCV presented a gradient dispersion in the longitudinal direction. In comparison to the FVA, the LPCV installation showed lower variability for the variables humidity and wind speed. However, greater variability for specific enthalpy of air and noise level. From the point of view of animal welfare, LPCV presented a high incidence of hock lesions of severe score, low occurrence of hind limbs and udder with a score equal to and greater than 3, low presence of lameness and discharge nasal and respiratory rate within the thermal comfort range. Regarding the zootechnical indexes, it was verified that after adoption of the LPCV, the dairy farm presented higher milk yield and pregnancy rate. In addition, it was found that the number of veterinary actions for mastitis treatment and retention of placenta decreased.

Keywords: Thermal comfort; Spatial variability; Animal welfare; Dairy cattle.

1. INTRODUÇÃO

Na bovinocultura leiteira, uma das grandes preocupações que aflige os produtores é o efeito do ambiente térmico sob as vacas em lactação. Em países de clima tropical e subtropical, como o Brasil, os elevados valores de temperatura e umidade do ar, especialmente no verão, incluem-se entre os principais fatores estressantes que afetam negativamente o desempenho da produção animal, principalmente, quando se trata de animais de alta produção, geneticamente desenvolvidos em clima temperado.

Assim, o confinamento de bovino leiteiro holandês de alto padrão genético em instalações climatizadas do tipo freestall é uma das alternativas adotadas pelos produtores com a finalidade de mitigar o efeito do estresse térmico.

O galpão do tipo freestall com ventilação cruzada (LPCV) é a mais nova opção de instalação para confinamento de bovinos leiteiros no país. O primeiro galpão foi construído na Dakota do Norte (EUA), em dezembro de 2005, e desde então, outros galpões foram construídos em várias áreas dos Estados Unidos e, agora, esta nova tecnologia de instalação está começando a ser adotada pelos produtores brasileiros.

O galpão LPCV, em inglês low-profile cross-ventilated freestall, é uma instalação totalmente fechada. A denominação “low-profile” resulta da baixa inclinação do telhado, e “cross-ventilated” devido ao sistema de ventilação mecânica, no qual o ar é insuflado através de painéis de resfriamento evaporativo que revestem uma das laterais longitudinais do galpão, e exaurido por exaustores, na lateral oposta. Além disso, utilizam-se defletores que garantem a movimentação contínua e direcionada do ar refrigerado sobre os animais.

As características do novo modelo de galpão freestall diferem do padrão convencional, caracterizado por laterais abertas e angulação do telhado variando de 33 a 55°, com ventilação natural associada ou não à ventilação artificial.

Os galpões fechados LPCV são utilizados com o intuito de amenizar o ambiente térmico no verão e controlar o ambiente térmico no inverno. Estudos realizados em galpões com sistema túnel associados aos painéis de resfriamento evaporativos, durante os meses de verão, mostraram redução da taxa respiratória, temperatura retal e período de serviço, além de melhores taxas de prenhes e aumento da produção de leite em comparação com outras estratégias de redução do

calor (Ryan et al., 1992; Smith et al., 2006). No entanto, segundo Brouk et al.(2001), em região de clima úmido, o uso destes painéis é menos eficiente e pode promover um índice de temperatura e umidade maior do que do ambiente externo. Outro ponto relevante, a grande área interna do galpão pode promover uma heterogeneidade das variáveis climáticas no ambiente interno.

Neste contexto, a necessidade do controle e entendimento efetivo do ambiente interno nas instalações de produção animal justificam o uso de diferentes métodos matemático e computacionais, tais como a geoestatística (MIRAGLIOTTA et al., 2006; FARIA et al., 2008; BARBOSA FILHO et al., 2009; CARVALHO et al., 2012; ; SILVA et al., 2012). O estudo e avaliação de sistemas de confinamento para vacas leiteiras com o uso de diferentes técnicas podem auxiliar no maior entendimento do conforto térmico e ambiental e, assim, proporcionar ferramentas mais eficientes e eficazes para identificação de possíveis problemas do sistema de produção.

Além disso, o confinamento pode acarretar outros problemas referentes às questões de bem-estar animal (BEA), como: altas incidências de lesões e sujeidade dos animais, principalmente do úbere, devido ao incorreto dimensionamento de baias e camas; problemas de cascos; privação da expressão do comportamento natural de pastejo e movimentação por grandes áreas; presença de comportamentos estereotípicos e agonísticos, devido ao empobrecimento ambiental etc.

O desenvolvimento de materiais e de modelos de instalações é essencial para a maximização da produtividade e, por consequência, da rentabilidade da atividade. Controlar o ambiente térmico é um componente-chave, no entanto, no caso deste novo modelo, estudos adicionais são necessários para quantificar os impactos no desempenho térmico da instalação, aspectos produtivos e no bem-estar das vacas lactantes, em regiões de clima quente e úmido, uma vez que o uso deste sistema é recente.

1.1. HIPÓTESE

A utilização do galpão freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada é mais eficiente que o galpão freestall convencional para confinamento de vacas holandesas em lactação, em regiões de clima quente e úmido, considerando as questões de controle das variáveis físicas do ambiente interno, de aspectos zootécnicos e de bem-estar animal.

1.2. OBJETIVO

Avaliar o desempenho térmico, ambiental, zootécnico, produtivo e o nível de bem-estar animal proporcionado por um galpão freestall fechado com sistema de ventilação cruzada, para alojamento de vacas holandesas lactantes, em região de clima quente e úmido em comparação com o sistema freestall convencional.

Objetivos específicos:

1. Avaliar e comparar os atributos microclimáticos e os índices de conforto térmico de dois galpões freestall com diferentes tipologias e sistemas de climatização (ventilação cruzada e convencional);
2. Analisar a variabilidade espacial das variáveis microclimáticas e físicas de dois galpões freestall com diferentes tipologias e sistemas de climatização;
3. Avaliar o impacto da adoção do novo sistema de confinamento de vacas lactantes, o freestall fechado com sistema de ventilação cruzada, nos aspectos produtivos, zootécnicos e de bem-estar dos animais.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.3.1. Instalações para confinamento de bovino leiteiro

O desenvolvimento de materiais e de modelos de instalações adequados à exploração leiteira faz parte da permanente busca por sistemas de produção que maximizem a produtividade e, por consequência, a rentabilidade da atividade (SILVA, 1998).

Em regiões de clima quente, buscam-se alternativas eficientes para dissipação do excesso de calor e umidade do ar e dispersão dos gases, do interior dos galpões de confinamento.

1.3.1.1. Galpão freestall convencional com laterais abertas

O galpão freestall é uma das mais comuns instalações para alojamentos de vacas leiteiras em produção.

Estes galpões são caracterizados por laterais abertas, com ventilação natural, associadas ou não com ventilação artificial, suplementando a movimentação do ar. O freestall é constituído por linhas de baias livres, normalmente quatro linhas, sendo a superfície das baias de descanso de borracha, colchão ou concreto com uma camada de substância orgânica, cama profunda de areia, etc.

A fim de obter a máxima eficiência das instalações de alojamentos para bovinos leiteiros em regiões de clima quente e úmido, Buffington et al. (1983) apresentaram algumas recomendações que foram amplamente adotadas para instalação dos galpões do tipo freestall convencional, são estas: orientação preferencial leste-oeste, no sentido do eixo longitudinal do telhado; piso de concreto reforçado com 0,1 m de espessura e declive de 1,5 a 2%; área de, pelo menos, 4,2 m² por vaca, mas preferencialmente acima de 5,6 m²; altura mínima de 3,6 m do ponto mais baixo do telhado ao solo; em galpões com largura excedente de 12 a 15 m, faz-se necessário providenciar aberturas no telhados e garantir um entorno de 15 m sem árvores, edificações ou qualquer obstáculo que possam prejudicar a ventilação natural; coberturas reflexivas, tais como telhados de alumínio e galvanizado pintados de brancos; comedouros e bebedouros localizados na sombra;

eficiente gestão de resíduos, limpeza diária, afim de manter adequado padrão de saneamento.

Do ponto de vista bioclimático, um dos principais fatores que influenciam na carga térmica de radiação, são os telhados. De acordo com Bodman (1983), inclinações de telhado entre 33% e 50% são os mais eficazes para promoção do efeito chaminé. Além disso, o autor recomenda que a largura da abertura do telhado, para condições de verão em climas quentes e úmidos, seja de pelo menos 0,3 m de largura, mais 0,05 m para cada 3 m de largura da estrutura. No caso do lanternim, a altura entre a cobertura do lanternim a o cume do telhado deve ser de 0,3 m. Segundo Bacarri Jr. (1998), o telhado de duas águas com lanternim ao longo do cume é o mais indicado, e entre os materiais utilizados estão as telhas de barro, as chapas galvanizada ou de alumínio, pintadas de branco na parte superior.

Vários aspectos das instalações, comentados acima, no intuito de assegurar uma ventilação natural eficiente, devem ser considerados. Mas a climatização por meio de processos artificiais aumenta a eficiência do sistema.

Várias estratégias de controle do ambiente térmico são utilizadas, um dos métodos mais comuns é a combinação de ventiladores com um sistema de resfriamento evaporativo, adotando nebulizadores e/ou aspersores. A Tabela 1 descreve estudos que resultaram em alterações do ambiente térmico de instalações do tipo freestall convencional com sistemas de resfriamento evaporativo, e conseqüentemente, das respostas fisiológicas de vacas leiteiras.

Bucklin et al. (1991) afirmaram que o sistema de aspersão sobre o animal apresentam vantagens sobre o sistema de nebulização. A vaca é arrefecida quando a água sobre seus pelos e pele evapora-se, permitindo ao animal perder calor de modo mais eficaz pela sua pele do que é possível através da transpiração. Os princípios básicos desse sistema são: fornecer uma pulverização intermitente; com gotas que molhem a superfície do animal; e suplementar a movimentação do ar mecanicamente com ventiladores.

As construções rurais em clima tropical enfrentam um desafio diferente do que as de clima temperado, por terem que lidar com altas temperaturas e umidades relativas do ar. Entretanto, há o benefício de instalações mais abertas e mais baratas (NÄÄS, 1998). No entanto, o crescente investimento, por parte dos produtores, na criação de animais com alto potencial genético, faz com que galpões de diferentes

tipologias sejam desenvolvidos e construídos para melhorar efetivamente a redução do estresse térmico.

Tabela 1. Variáveis microclimáticas e respostas fisiológicas de vacas leiteiras confinadas em galpão freestall convencional sem e com sistema de aspersão e nebulização.

Autor	Local	Sistema	Tbs (°C)	UR (%)	TC (°C)	FR (mov.min ⁻¹)	IMS (kg.dia ⁻¹)	Prod (kg.dia ⁻¹)		
Chen et. (2016)	EUA	F			38,9		27,9	42,6		
		F+A			38,5		29,1 ^{ns}	45,9		
Karimi et al. (2015)	Iran	F			39,5	70,4	13,7	40,5		
		F+A+V			39,2	63,3	15,5	44,6		
Bucklin et al. (2009)	EUA	EXT	27,7	71						
		F + A	27,4	70						
Perissinoto (2004)	Brasil	EXT	27,3	60						
		F + A + V	27 ^{ns}	59,8	38,4	55	15,0	20,3		
		F + N + V	26,6	60,3 ^{ns}	38,5 ^{ns}	56 ^{ns}	14,9	19,7 ^{ns}		
Frazzi et al. (2002)	Itália	F					21,8	30,6		
		F + A + V					22,7	33,5		
Lin et al. (1998)	EUA	F+V	29,0	70		67	17,2	20,7		
			F + A + V	25,4	90		36	18,6	24,8	
		F+V	30,3	67		72	15,8	19,7		
			F + A + V	26,8	86		56	16,6 ^{ns}	20,7 ^{ns}	
		F + V	27,9	68		66	17,1	22,4		
			F + A + V	25,5	84		54	19	25,0	
			F + N + V	25,9	81		57	18,5	23,0	
		F + V	31,5	69		77	17,5	21,0		
			F + A + V	27,5	94		58	20,5	24,0	
			F + N + V	26,6	88		66	19,6	24,2	
		Turner et al. (1992)	EUA	F			39,2	91	34,9	22,7
				F + A + V			38,7	75	38,1	26,3
Strickland et al. (1989)	EUA	F				95	17,8	18,1		
		F + A + V				57	19,1	20,2		

F = freestall convencional com laterais abertas, A = aspersão; V = ventiladores; Tbs = temperatura de bulbo seco; UR= umidade relativa; TC = temperatura corporal; FR = frequência respiratória; IMS = ingestão de matéria seca; Prod = produção de leite; ns = não foi significativo.

1.3.1.2. Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada

A evolução da produção de leite vem passando por uma janela tecnológica muito grande. Na última década, novos sistemas de confinamento estão ganhando espaço no cenário internacional e nacional da bovinocultura de leite. Por exemplo, como os diferentes modelos de galpão freestall que utilizam a tecnologia de ventilação do tipo túnel ou ventilação cruzada, associada aos painéis de resfriamento evaporativos, nebulizadores ou aspersores; e o sistema de

confinamento “compost barn” que consiste em uma grande área coberta, e livre de baias, geralmente revestida com serragem de madeira seca ou outros materiais orgânicos e cultivada duas vezes por dia (BARBERG et al., 2007).

O galpão do tipo freestall com ventilação cruzada de baixo perfil, em inglês low-profile cross-ventilated free-stal (LPCV), é um novo conceito no sistema de produção de leite, no Brasil. A primeira instalação LPCV começou a operar na Dakota do Sul, Estados Unidos, em 2005.

A instalação é totalmente fechada, por isso a ventilação mecânica é essencial. O sistema de climatização se baseia no controle, direcionamento e refrigeração do ar. Para isso utiliza-se de exaustores, defletores e, geralmente, um sistema de resfriamento evaporativo (painéis evaporativos, e/ou nebulizadores e/ou aspersores), que garantem a movimentação contínua e direcionada do ar refrigerado. No caso deste estudo, o LPCV possuía um sistema de resfriamento evaporativo adiabático (SREA) por meio de placas evaporativas.

O painel evaporativo é instalado ao longo de uma lateral da construção, em paralelo a cumeeira, e exaustores são instalados na lateral oposta (Figura 1), ou seja, o ar é insuflado através de painéis de resfriamento evaporativo que revestem uma das laterais do galpão, e exaurido pela lateral oposta constituída de exaustores, o que caracteriza a denominação “cross-ventilated”. Os portões de entrada são localizados nas fachadas frontal e posterior, isto permite a utilização de toda a largura das laterais para os sistemas de resfriamento e ventilação (SMITH et al., 2008).

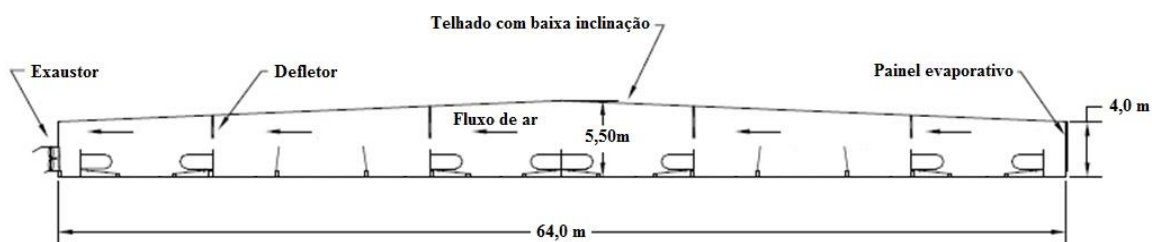


Figura 1. Vista frontal de uma instalação freestall LPCV de 8 linhas de baias. Adaptado de Smith et al. (2008).

A denominação “low-profile” resulta da baixa inclinação do telhado de apenas 4% (SMITH et al., 2007), diferentemente de instalações convencionais com ângulos de 33%. Esta mudança estrutural reduz os custos com a construção de

telhados. A Figura 2 mostra a diferença na altura da cumeeira entre free-stal convencional de 4 linhas de baias e um LPCV de 8 linhas.



Figura 2. Comparação entre dois galpões freestall ventilado naturalmente de 4 linhas, totalizando 8 linhas, e um galpão freestall LPCV de 8 linhas. Adaptado de Smith et al. (2007)

Outra vantagem de instalações LPCV é o uso de uma menor área de construção (*footprint*) comparado com galpões convencionais naturalmente ventilado, ou seja, o espaço de terra para construção de um galpão LPCV com oito linhas de baias é menor do que para construção de 2 galpões convencionais de 4 linhas, conforme demonstrado na Figura 2. Enquanto um LPCV de 8 linhas apresenta uma largura de aproximadamente de 65 m, dois galpões convencionais, de 4 linhas cada, necessita de uma largura, de aproximadamente, de 100 m (Figura 2). Na prática, isso significa que a área necessária para confinar vacas em lactação é 70% maior em um freestall convencional do que o LPCV (HARNER; SMITH, 2008). Além disso, o sistema LPCV permite que certas instalações, como por exemplo, a sala de ordenha, sejam conectadas a área de confinamento. Enquanto que no sistema convencional, com o intuito de não obstruir a ventilação natural, as instalações devem ser localizadas respeitando distâncias mínimas (SMITH et al., 2007).

Os galpões LPCV foram desenvolvidos com base nos princípios de um galpão tipo túnel, muito utilizado na avicultura de corte. A principal diferença esta relacionada à direção do ar no interior das instalações: no sistema tipo túnel, o ar é puxado através do galpão paralelamente à cumeeira; no LPCV, o ar percorre o galpão em perpendicular a cumeeira.

O uso de defletores no interior de galpões é uma boa estratégia para aumentar o fluxo de ar sobre as baias de descanso. Os defletores podem aumentar a velocidade do ar sob as baias de 1 metro por segundo para 2,5-3,5 metros por

segundo (SMITH et al., 2007), permitindo uma maior troca de calor para a vaca deitada. No entanto, a instalação de defletores no interior de um galpão tipo túnel se torna um desafio, uma vez que os corredores devem ser livres para passagem do maquinário que fornece alimento aos animais. Os defletores em galpões tipo túnel devem ser instalados de 3,7 a 4 m acima do chão para evitar a interferência no manejo; em galpões LPCV, os defletores são instalados sobre as linhas de baias e de alimentação a 1,8 do solo, permitindo fluxo de ar direto sobre os animais confinados (SHEFFIELD et al., 2007).

O SRAE por meio de painéis tem sido utilizado com sucesso em galpões ventilados em túnel. O mecanismo tem como princípio a utilização de energia do ar para evaporar a água, que diminui a temperatura e aumenta a umidade do ar na instalação (BUCKLIN et al., 1991). No entanto, a capacidade para diminuir a temperatura do ar por meio deste sistema é dependente da umidade do ambiente externo (BROUK et al., 2003). À medida que a umidade aumenta, o potencial de resfriamento (máxima queda de temperatura, assumindo que o sistema é 100% eficiente) diminui. Smith et al. (2008) demonstraram que há uma limitação do sistema de painéis evaporativos para abaixar a temperatura do ambiente LPCV durante períodos de alta umidade ambiental.

Harner et al. (2009) avaliaram um galpão LPCV durante o verão, em uma região árida, e verificaram redução de até 7°C, durante o turno da tarde; e redução da quantidade de tempo com THI acima de 72 em 58%. Mas, Brouk et al. (2001) ressaltaram que se a temperatura não for suficientemente baixa, a umidade adicional pode fazer com que o THI seja maior do que no ambiente externo.

Smith et al. (2008), numa fazenda na Dakota do Norte/EUA, avaliaram o impacto do ambiente sobre a temperatura vaginal de vacas confinadas em LPCV e freestall convencional com aspersores e ventiladores, e demonstraram que a temperatura das vacas confinadas no LPCV foi mais constante, com menor variação. A redução das flutuações na temperatura corporal tem um grande impacto sobre a produção, reprodução e saúde de vacas leiteiras. Ryan et al. (1992), em região seca e quente, observaram que vacas confinadas em instalação com painéis evaporativos melhoraram as taxas de prenhez (35,2 vs. 23,2%), reduziram os dias abertos (117,6 vs. 146,7) e aumentaram a produção de leite (27,7 vs. 26,8 kg) comparada as vacas alojadas em instalação que utilizava nebulização com ventilação forçada.

Smith et al. (2006) compararam as taxas de respiração e as temperaturas retais de vacas confinadas em um galpão tipo túnel com resfriamento evaporativo e um galpão convencional com ventiladores e aspersores. As vacas do galpão tipo túnel apresentaram, em média, frequência respiratória de 13 movimentos por minuto a menos e temperatura retal de 0,4°C menor que as vacas do galpão freestall convencional. Wise et al. (1988b) encontraram redução de THI (77 vs. 84), temperatura retal (38,9 vs. 40,1°C), e frequência respiratória (64 vs. 100 mov.min⁻¹), em estudo que comparou o confinamento de vacas sob sistema de resfriamento evaporativo e em ambiente externo com sombra.

Além do controle do ambiente térmico, esta instalação permite controlar o ambiente lúmico. A iluminação adequada é importante, uma vez que não existe luz natural. Segundo Harold (2015) esse sistema possibilita um melhor controle do ambiente lúmico, e conseqüentemente do fotoperíodo do animal. O controle da exposição das vacas leiteiras sob determinados períodos e faixas de intensidade luminosa pode promover aumento na produção de leite (HARNER, 2008). Na Tabela 2 encontra-se um resumo das vantagens e desvantagens do sistema LPCV em instalações freestall.

Tabela 2. Vantagens e desvantagens do galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (LPCV).

Vantagens	Desvantagens
Maior controle do ambiente de produção, durante todas as estações do ano	Alto custo inicial
Velocidade e fluxo do ar constante sobre as vacas deitadas	Maior uso de energia e água, e custos com manutenção dos exaustores
Controle do ambiente lúmico	Presença de geradores é essencial, devido a situações de queda de energia
Melhor qualidade do ar	Viável economicamente para confinamento mínimo de 400 animais
Redução das flutuações na temperatura corporal	Ambientes com temperaturas abaixo de zero, no inverno, apresentam problemas com a ventilação, uma vez que é necessário um número mínimo de exaustores funcionando, e esta redução de temperatura pode causar congelamento dos dejetos
Aumento da produção	
Melhor eficiência alimentar	
Melhor desempenho reprodutivo	
Redução da laminitite	
Reduzido <i>footprint</i>	Em climas com elevada umidade relativa do ar o sistema de arrefecimento por evaporação é menos eficiente para evitar o estresse térmico do que em climas secos
Redução dos custos com a construção de telhado	
Não precisa apresentar orientação leste-oeste	
Menor distancia entre instalações	
Maior controle de moscas, aves e carrapatos	

O investimento em instalações de ventilação cruzada se justifica pelo maior controle do ambiente de produção, comparado a outras construções de alojamento para bovinos leiteiros, durante todas as estações do ano. No entanto, informações adicionais são necessárias para quantificar os impactos no desempenho produtivo, reprodutivo e no bem-estar das vacas lactantes, em regiões de clima quente e úmido, caso o Brasil, uma vez que o uso deste sistema é recente.

1.3.1.3. Recentes publicações referentes às instalações de confinamento

Usando os termos “freestall or freestall” e “cross-ventilated and dairy”, pesquisou-se no banco de dados online Web of Science™, Thomson Reuters Web of ScienceSM, recentes publicações referentes às instalações de confinamento para bovino leiteiro.

A busca foi realizada utilizando o campo “Tópico” que abrange título, resumo e palavras-chave. A pesquisa foi restrita para artigos publicados nos últimos 17 anos (2000-2017). Para minimizar os falsos resultados, a pesquisa também foi restringida para as seguintes áreas de pesquisa: *agriculture, food science technology, veterinary sciences, zoology, biophysics, meteorology atmospheric sciences, physiology, engineering, automation control systems, materials science, behavioral sciences, infectious diseases e reproductive biology*.

A pesquisa para o termo “freestall” apontou 581 artigos publicados em periódicos. Para “cross-ventilated and dairy” encontrou-se, apenas, quatro artigos publicados. Para observar as tendências ao longo do tempo, os artigos foram separados por ano de publicação. A Figura 3 mostra o número total de artigos publicados anualmente, em diferentes periódicos científicos.

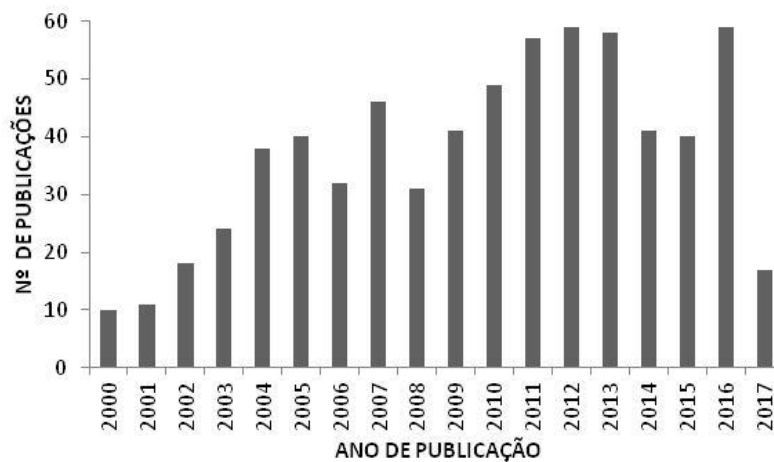


Figura 3. Número total de artigos publicados anualmente em diferentes periódicos, que apresentaram no título, resumo ou palavras-chave os termos “freestall or freestall” e “cross-ventilated and dairy”.

Por meio desse levantamento, observou-se que a abordagem do novo modelo de instalação freestall, que utiliza sistema de ventilação cruzada, ainda é muito recente, e poucas informações ainda foram publicadas (quatro publicações, em seis anos). Além disso, o artigo publicado em 2014 possui o termo “cross-ventilated” no título, mas se trata de um galpão de laterais abertas naturalmente ventilado, ou seja, foram encontradas apenas três publicações abordando o freestall fechado com ventilação cruzada. No entanto, publicações de artigos referentes ao sistema freestall convencional apresentaram crescimento, na última década.

Complementando essas análises, uma pesquisa adicional para avaliar o impacto destas pesquisas foi realizada, identificou-se os artigos mais citados desde a publicação, entre os 581 artigos encontrados na pesquisa acima.

O número total de citações foi de 9.146, até abril de 2017. A fim de identificar atuais prioridades quanto ao sistema de produção leiteiro, selecionou-se os 15 artigos mais citados (com o termo “freestall”) e os 03 artigos referentes ao termo “cross-ventilated”, conforme Tabela 3. Mastite, laminite, reprodução e comportamento social, alimentar e de descanso foram os principais assuntos abordados por estes artigos. Estes problemas estão muito vinculados aos sistemas de confinamento, como o galpão freestall.

Tabela 3. Os 15 artigos “freestall” mais citados, e os três artigos referentes ao termo “cross-ventilated” apontados pela pesquisa.

Título do artigo (termo “freestall”)	Palavra-chave	Autor(es)	Total	Média Ano
1.Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows	Comportamento reprodutivo	Lopez et al. 2004	206	15
2.Incidence rate of clinical mastitis on Canadian dairy farms	Mastite	Riekerink et al. 2008	165	16
3.Evaluation of nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases	Transição	Ospina et al. 2010	153	19
4.Prevalence of lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns in Minnesota	Laminite	Espejo et al. 2006	144	12
5.Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle	Comportamento social e alimentar	Huzzey et al. 2006	121	10
6.Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of freestall housed lactating dairy cows	Comportamento alimentar e social	DeVries et al. 2004	121	8
7.Effect of free stall surface on daily activity patterns in dairy cows with relevance to lameness prevalence	Laminite	Cook et al. 2004	120	8
8.Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface	Laminite	Cook 2003	119	8
9. Management practices and reported antimicrobial usage on conventional and organic dairy farms	Manejo	Zwald et al. 2004	102	7
10.Associations of elevated nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States	Transição	Ospina et al. 2010	96	12
11.Effects of three types of freestall surfaces on preferences and stall usage by dairy cow	Materiais e preferência animal	Tucker et al. 2003	95	6
12.Effects of pasture on lameness in dairy cows	Laminite	Hernandez-Mendo et al. 2007	94	6
13.Effect of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows	Reprodução sob estresse térmico	Al-Katanani et al. 2002	92	5
14.Overstocking reduces lying time in dairy cows	Tempo de descanso	Fregonesi et al. 2007	90	8
15.The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period	Transição	Chapinal et al. 2011	33	8,25

O aumento de publicações internacionais nos últimos anos e a quantidade de citações demonstram que os principais problemas de confinamento ainda são investigados, e precisam de soluções que favoreçam tanto o produtor, que visa o lucro, quanto o animal, que deve possuir nível de BEA adequado. Além do mais, informações referentes ao novo sistema de confinamento leiteiro ainda são poucos, até mesmo em periódicos internacionais. Sobre o sistema LPCV, encontrou-se resumos de pesquisadores americanos publicados em congressos e simpósios.

1.3.2. Exigências microclimáticas e ambientais do sistema de produção leiteiro

1.3.2.1. Temperatura e umidade relativa do ar

Um dos maiores desafios na criação de bovinos leiteiros em regiões subtropicais é mitigar os efeitos deletérios do estresse térmico. Na literatura científica, existe uma grande variação sobre os valores de temperaturas críticas, superior e inferior, que delimitam a faixa de termoneutralidade. O conforto térmico não depende apenas da temperatura do ar, mas, também, da umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar; além da capacidade adaptativa do animal, metabolismo e período produtivo (RICCI et al., 2013; GAUGHAN et al., 2000).

Existem dois mecanismos principais que a vaca utiliza para manter seu estado homeotérmico: evaporação, que inclui sudorese e ofego, ou mecanismos sensíveis como condução, convecção ou radiação (YOUSEF, 1987). A evaporação funciona por uma pressão/gradiente de vapor, enquanto que a condução, convecção e radiação funcionam por gradiente térmico (COLLIER et al., 2006). Desse modo, a umidade relativa passa a ter importância fundamental nos processos de dissipação de calor quando a temperatura do ar é elevada, uma vez que o ar úmido saturado dificulta a evaporação através da pele e do trato respiratório (NAAS, 1989).

Na Tabela 4 encontram-se valores de temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) que delimitam a zona de conforto e de termoneutralidade de vacas leiteiras, de acordo com diversos autores.

Tabela 4. Zonas de conforto e termoneutralidade de vacas leiteiras de acordo com os valores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar.

Autor(es)	Categoria	Faixas de Tbs e UR	Descrição
Dickmen e Hansen (2009)	Vacas leiteiras	28,4°C	Temperatura crítica superior baseada no valor de temperatura retal de 38,5°C.
West (2003)	Vacas leiteiras	25 a 26°C	Temperatura crítica superior.
Baeta e Souza (1997)	Raças europeias	-1 a 16°C	Zona de conforto térmico.
Roefeldt et al. (1998)	Vacas em lactação	27°C	Temperatura crítica superior.
Huber <i>apud</i> Titto (1998)	Vacas holandesas	5 a 25°C	Zona de termoneutralidade.
Bucklin e Bray (1998)	Vacas em lactação	4 a 26°C	Zona de termoneutralidade.
Fuquay (1997)	Vaca em lactação	24 a 27°C	Temperatura crítica superior.
Broucek (1997)	Vacas leiteiras	25 e 26°C	Temperatura crítica superior, independente de aclimação ou nível de produção.
Igono et al. (1992)	Vacas Holandesas	24 a 27°C	Temperatura crítica superior.
Cortez e Magalhães (1992)	Vaca leiteira	27°C	Temperatura crítica superior, em clima quente e seco, na qual ocorreu declínio na produção de leite.
		12 a 18°C	Zona de conforto térmico.
		70 a 80%	Zona de termoneutralidade.
Naas (1989)	Ruminantes	-5 a 25°C	Zona de conforto, onde a produtividade tenderia à máxima. Nesta faixa, cerca de 75% do calor trocado entre o animal e o ambiente é dissipado por condução, convecção e radiação.
		30 a 80%	Limites recomendados de temperatura para o mínimo de produção, em longos períodos de exposição, quando a umidade relativa média é 75%.
Stevens et al. <i>apud</i> Naas (1989)	Vaca em lactação	13 a 18°C	Para cargas de radiação superiores a 60 cal/cm ² /hs haverá uma alteração de 3 graus.
		7 a 21°C	Temperatura máxima admissível para exposições de curta duração em condições insalubres de ventos, radiação ou umidade relativa.
Johnson (1987)	Vacas leiteiras	30°C	Estresse térmico para vacas mais velhas e de alta produtividade.
Berman et al. (1985)	Vacas holandesas em lactação	21°C	Temperatura crítica superior, independente da produtividade e/ou aclimação das vacas.
Muller <i>apud</i> Naas (1998)*		25 a 26°C	Umidade relativa em ambientes é limitante quando a temperatura supera 18,3°C, e mais pronunciadamente quando ultrapassa o valor de 26,7°C. A partir daí, o balanço calórico é prejudicado, assim, como o consumo alimentar e a produção de leite.
NRC (1981)	Vaca em lactação	26,7 °C	Umidade relativa em ambientes é limitante quando a temperatura supera 18,3°C, e mais pronunciadamente quando ultrapassa o valor de 26,7°C. A partir daí, o balanço calórico é prejudicado, assim, como o consumo alimentar e a produção de leite.
		13 a 18°C	Conforto térmico, máxima eficiência do metabolismo.
NRC (1981)	Vaca leiteira	26 a 30°C	Estresse térmico moderado (ofego, suor, 10% de queda na produção de leite e ingestão de alimentos).
		50 a 90%	Estresse térmico severo (boca aberta, língua caída, depressão de 30% da produção de leite).

Esse estudo considerou como faixa de zona ótima valores de temperatura entre 12 a 18°C associados a valores de umidade relativa do ar entre 50 e 70%, e a faixa de termoneutralidade com valores que variam de 5 a 25°C associados a umidade relativa entre 30 e 80%.

1.3.2.2. Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para caracterizar e quantificar as zonas de conforto adequadas a cada espécie de animais, para bovinocultura leiteira os mais utilizados são: Índice de Temperatura e Umidade - THI (JOHNSON et al., 1962; KIBLER, 1964; JOHNSON, 1965; KELLY; BOND, 1971; JOHNSON; VANJONACK, 1976), Índice de Globo Negro e Umidade – BGHI (BUFFINGTON et al., 1981), Carga Térmica Radiante - CTR (ESMAY, 1969) e Entalpia Específica – h (ALBRIGHT, 1990; RODRIGUES, 2011).

Thom (1959) desenvolveu para os seres humanos o Índice de Desconforto (DI), a partir do qual foram produzidos muitos índices de conforto térmico para animais de produção. Bianca (1962) estudou o efeito combinado da temperatura de bulbo seco e úmido sobre a temperatura retal de bezerras de touro. A partir deste estudo Johnson et al. (1962) aplicou, pela primeira vez, o Índice de Temperatura e Umidade (THI) para determinar os efeitos de ambos os parâmetros na produção de leite e no conforto de vacas Holandesas. Com o tempo, a fórmula do THI foi aprimorada por Johnson (1965) e Johnson e Vanjonack (1976), usando a temperatura do ponto de orvalho em vez da temperatura do bulbo úmido. O original THI e variações são utilizados para estimar o grau de estresse térmico.

Na prática, o valor de THI igual a 72 é considerado o limiar entre o conforto e desconforto térmico para vacas leiteiras. Mas, através da revisão de estudos que caracterizaram valores de THI de acordo com respostas produtivas e fisiológicas de vacas em lactação, verificou-se certa variação nos limites apresentados pelos autores para condições de estresse térmico, conforme a Tabela 5.

Essa variação foi estudado por Bohmanova et al. (2007) que compararam diferentes equações de THI com pesos diferentes de temperatura e umidade de bulbo seco, em uma região de clima semiárido (Arizona, EUA) e úmido (Georgia, EUA) (Tabela 6). Os autores encontraram diferenças nos limiares de estresse térmico entre os índices e entre as regiões.

Tabela 5. Classificação do Índice de Temperatura e Umidade (THI) para vacas leiteiras

Autor(es)	Caracterização dos valores de THI
	Estresse leve ≥ 72 ; moderado ≥ 79 ; e severo ≥ 89 .
Akyuz et al. (2010)	Os autores recomendaram que os produtores devem tomar medidas quando o THI esta acima de 72 durante os meses de verão para prevenir perdas de produção, mudanças na composição do leite, e problemas com CCS e mastite.
Vitali et al. (2009)	THI = 70, valor no qual o numero de óbitos em fazenda leiteira começa a aumentar; THI = 87, valor máximo crítico de mortalidade de gado leiteiro.
Cook et al. (2007)	THI ≥ 68 , mudanças comportamentais (redução do tempo deitada).
Azevedo et al. (2005)	Considerando-se a temperatura retal (38,0 a 39,0°C), estimaram-se valores críticos superiores de THI iguais a 80, 77 e 75 para os animais dos grupos genéticos 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em lactação, respectivamente. Com base na frequência respiratória (60 movimentos/minuto), estimaram-se valores críticos superiores de THI iguais a 79, 77 e 76 para os animais dos grupos genéticos 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu, respectivamente.
Campos et al. (2002)	THI ≥ 75 , decréscimo na produção de leite e ingestão de alimentos.
Bouraoui et al. (2002)	Para cada unidade adicionada no valor de THI, variando de 68 a 78, houve redução na ingestão de matéria seca e na produção de leite de 0,4 kg/vaca/dia, em clima mediterrâneo.
Gaughan et al. (2002)	≥ 71 , estresse moderado; ≥ 79 , estresse severo; ≥ 84 , morte possível para gado sem sombra e/ou aspersores; ≥ 90 , morte eminente mesmo com sombra e aspersão. Os efeitos do estresse são atenuados se a velocidade do ar é menor que 1,5 m/s.
Aguiar e Targar (2001)	THI ≥ 72 por um período de quatro horas por dia, durante cinco dias, ocasionou queda na produção de vacas Holandesas nas fases de conforto térmico subsequentes.
Huhnke et al. (2001)	Situação perigosa ≥ 79 ; e de emergência ≥ 84 .
Armstrong (1994)	Estresse leve > 72 ; estresse moderado ≥ 79 ; estresse severo ≥ 90 ; morte > 98
Igono et al., (1992)	THI críticos mínimo, médio e máximo para produção de leite são 64 (21°C), 72 (27°C) e 76 (32°C).
Lemerle e Goddard (1986)	Relataram que, embora a temperatura retal só aumentasse quando o THI fosse maior que 80, a frequência respiratória começaria a aumentar acima de 73.
Rosenberg et al. 1983	Alerta ≥ 75 ; sinal de perigo ≥ 79 (principalmente rebanhos confinados); e morte ≥ 85 .
Johnson (1980)	>72 , produção de leite foi declinando, na medida em que este índice se eleva, sendo mais acentuado nas vacas de maior produtividade.
LCI (1970)	Alerta ≥ 75 ; perigo ≥ 79 ; e emergência ≥ 84 . <i>Essa classificação era adotada por Livestock Weather Safety Index (LWSI). Atualmente, LWSI considera situação de conforto térmico até 78.</i> ⁽¹⁾
Johnson et al. (1962)	$> 74,5$, a produção de vacas de 23 kg de leite por dia declina cerca de 0,8 kg por dia para cada unidade de aumento do THI, enquanto a de 14 kg de leite por dia declina 0,4 kg por dia.
Dairy Australia ⁽²⁾	> 72 , vaca começa a sofrer estresse térmico; > 78 , produção de leite é seriamente afetada; > 82 , as perdas muito significativas na produção de leite são prováveis, as vacas mostram sinais de estresse severo e podem, em última instância, morrer.

¹ http://weather.uky.edu/table_lsi.html; ² <http://www.coolcows.com.au/go-on-alert/thi.html>.

Tabela 6. Razão de temperatura de bulbo úmido e seco e os limiares de estresse térmico para bovinos leiteiros determinados para quatro equações de THI, de acordo com o declínio da produção de leite. Fonte: Bohmanova et al. (2007).

Equação de THI	Autor (es)	Tbu/Tbs	Clima quente e úmido		Clima Semiárido	
			THI _{Limiar}	$\Delta P(\text{kg})$	THI _{Limiar}	$\Delta P(\text{kg})$
$= 0,35 \times \text{Tbs} + 0,65 \times \text{Tbu}$	Bianca (1962)	1,9	69	-127	74	-142
$= (0,55 \times \text{Tbs} + 0,2 \times \text{Tpo}) \times 1,8 + 49,5,$	Johnson (1965)	1,2	79	-108	82	-163
$= \text{Tbs} + (0,36 \times \text{Tpo}) + 41,2$	Yousef (1985)	1,2	71	-105	74	-162
$= (1,8 \times \text{Tbs} + 32) - (0,55 - 0,0055 \times \text{UR})$ $\times (1,8 \times \text{Tbs} - 26)$	Kelly e Bond (1971)	0,3	72	-100	74	-168

Em clima úmido, a equação de Bianca (1962), com uma razão de 1,9, foi o melhor índice para detecção da perda de produção de leite, com declínio de 127 kg. No clima semiárido, a fórmula de Kelly e Bond (1971), com razão de 0,3, foi o melhor índice detectando declínio de 168 kg na produção de leite. Desse modo, os índices com maior peso para UR foram melhores no clima úmido, enquanto que os índices com maiores pesos de Tbs foram os melhores indicadores de estresse térmico no clima semiárido.

Dickmen e Hansen (2009) avaliaram oito diferentes equações de THI, a temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e a velocidade do vento com o intuito de encontrar o melhor indicador de estresse térmico em regiões subtropicais, com base na temperatura retal. Os autores concluíram que a Tbs isolada, assim como o THI, é uma boa variável para prever a temperatura retal de vacas Holandesas em clima subtropical.

O presente estudo adotou a fórmula proposta por Johnson e Vanjonack (1976), e classificou o THI conforme os valores de temperatura e umidade do ar definidos no item anterior, que determinou um valor de 74,2 como limiar para o conforto de vacas Holandesas em lactação.

O Índice de Globo Negro e Umidade (BUFFINGTON et al., 1981) é bastante utilizado para avaliação de estresse térmico em bovinos. No entanto, este índice é indicado em condições em que os animais são expostos à radiação solar. O BGHI apresenta, essencialmente, a mesma equação do THI desenvolvido por Johnson e Vanjonack (1976), mas com temperatura de globo negro substituindo a temperatura de bulbo seco.

Outro índice de conforto térmico que pode ser utilizado para avaliar ambientes zootécnicos é a entalpia. A entalpia específica do ar (h) é uma propriedade psicrométrica do ar que considera a quantidade de energia por massa

de ar seco (kJ/kg de ar seco⁻¹), podendo ser calculada por meio da equação de Albright (1990).

$$h = 1,006Tbs + w (2501 + 1,805Tbs)$$

eq.1

onde: h - entalpia (kJ/kg de ar seco); Tbs – temperatura de bulbo seco; e w – razão de mistura.

Barbosa Filho et al. (2007) (equação 2) e Furlan (2001) (equação 3) apresentaram diferentes fórmulas de h para determinar as condições de conforto térmico para aves e ambiente protegido para plantas, respectivamente. No entanto, Rodrigues et al. (2011) demonstrou que estas equações resultam em erros.

$$h = \left(6,7 + 0,243 Tbs + \left(\left(\frac{UR}{100} \right) \times 10^{\frac{7,5 Tbs}{237,3+Tbs}} \right) \right) \times 4,18$$

eq.2

$$h = \left(6,7 + 0,243 Tbs + 2,216 \times \left(\left(\frac{UR}{100} \right) \times 10^{\frac{7,5 Tbs}{237,3+Tbs}} - 1 \right) \right) \times 4,18$$

eq.3

onde: h - entalpia (kJ/kg de ar seco); Tbs – temperatura de bulbo seco (°C); UR– umidade relativa (%).

A equação 4 proposta por Rodrigues et al. (2010) é uma reformulação da equação de Albright (1990), que apresentou os conceitos físicos detalhados em ASHRAE (1993).

$$h = 1,006Tbs + 0,0285 \frac{UR}{pb} 10^{\frac{7,5 \cdot Tbs}{237,3+Tbs}} \times (2501 + 1,805Tbs)$$

eq.4

onde: h - entalpia (kJ/kg de ar seco); Tbs – temperatura de bulbo seco (°C); UR– umidade relativa (%); Pb – pressão barométrica (mmHg).

Basicamente, os autores ajustaram a equação para considerar variáveis ambientais de fácil mensuração, como temperatura de bulbo seco (°C), umidade relativa do ar (%) e a pressão barométrica local (mmHg), ao invés de razão de mistura (w) da massa de vapor d'água e massa de ar seco.

As equações de Barbosa Filho et al. (2007) e Villa Nova apud Furlan (2001) resultam em valores diferentes comparados a fórmula de Albright (1990), como pode ser observado na Figura 4. A equação de Rodrigues et al. (2011) coincidiu em todos os valores.

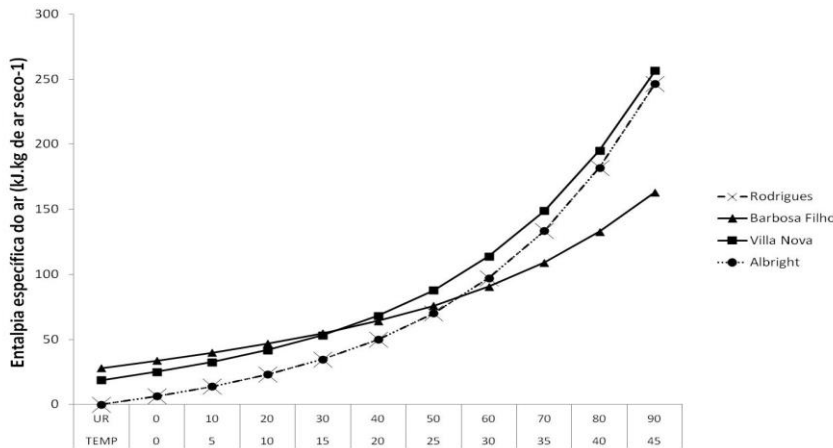


Figura 4. Valores de entalpia específica do ar calculados por meio das fórmulas de Rodrigues (2012), Barbosa Filho et al. (2007), Villa Nova apud Furlan (2001) e Albright (1990).

Na Figura 4, as equações apresentam perfis semelhantes no crescimento das curvas, mas com diferentes valores absolutos. A equação de Villa Nova apud Furlan (2001) mostra valores da entalpia (h) superestimados em relação à equação de Albright (1990). A equação utilizada por Barbosa Filho et al. (2007) mostra duas diferentes situações. A primeira situação refere-se a valores superestimados; a segunda situação mostra que, para altos valores de temperatura e umidade, os valores foram subestimados, comparado com a equação de Albright.

Outro ponto importante, observa-se que as equações de Barbosa Filho e Villa Nova não estão de acordo com valores de 0°C de temperatura e 0% de umidade relativa do ar, o que resultaria em um valor de zero para a entalpia específica. A equação de Barbosa Filho et al (2007) apresenta valor de 28 kJ/kg de ar seco⁻¹, e a equação de Villa Nova apud Furlan (2001) apresenta valor de 18,7 kJ/kg de ar seco⁻¹.

Por isso, adotou-se a fórmula proposta por Rodrigues et al. (2011) para avaliar a quantidade de calor presente nos ambientes de produção, e classificou a h conforme os valores de temperatura e umidade do ar definidos no item anterior, que

determinou um valor de 64,7 kJ.kg de ar seco⁻¹ como limiar para o conforto de vacas Holandesas em lactação.

A entalpia específica do ar é uma propriedade psicrométrica do ar. Desse modo, quando utilizada para avaliar um sistema de resfriamento adiabático evaporativo, deve-se atentar que, teoricamente, apesar do decréscimo de temperatura de bulbo seco e aumento da umidade relativa no ambiente, a entalpia do ar deverá se manter constante (Baeta e Souza, 1997).

1.3.2.3. Velocidade do vento

Baccari Jr. (1998) apresentou uma classificação do vento, de acordo com a velocidade: fraco, para velocidade que varia de 1 a 4 m/s; forte de 8 a 16 m/s; violento de 16 a 25 m/s, furacão, mais de 25 m/s.

Hahn (1982) sugere o valor de 2,2 m/s como velocidade do vento ótima para criação de vacas leiteiras em condições de clima quente. Brody et al. (1954) demonstraram que a velocidade do vento de até 3,8 m/s não obteve efeito significativo na produção de leite e na ingestão de matéria seca e de água de vacas holandesas confinadas em ambiente com temperaturas do ar amenas, mas encontraram diferenças significativas do efeito da velocidade do vento quando as vacas eram confinadas a 35°C. A produção e a ingestão das vacas foram menores em baixas velocidades do ar comparada as vacas sob altas velocidades.

Berman (2005), por meio de modelos de balanço térmico, predisse valores de temperatura superior crítica (TSC) de vacas Holandesas em lactação (Tabela 7). O autor verificou que vacas com produção de 45 kg de leite por dia apresentaram TSC menores do que vacas de 35 kg de leite por dia, demonstrando que quanto maior a produtividade do animal mais susceptível este será as condições ambientais.

Berman (2005) também constatou que à medida que a umidade absoluta no ambiente aumentou a TSC dos animais reduziu. Porém, à medida que a velocidade do vento aumentou a TCS dos animais aumentou. O efeito da velocidade do vento foi amplificado quanto maior a umidade do ar (Tabela 7). Esses resultados mostram a importância de uma adequada e constante movimentação do ar dentro de uma instalação zootécnica, principalmente em sistemas de resfriamento evaporativo, onde a umidade relativa do ar é elevada.

Tabela 7. Limiares de temperatura do ar (°C) em resposta a condição de estresse térmico para vacas Holandesas em lactação, de acordo com a velocidade do vento (m/s) e umidade absoluta (g de água/kg de ar seco). Fonte: Berman (2005).

	Limiares de temperatura de bulbo seco (°C)			
	Produção de 35 kg/d		Produção de 45 kg/d	
	5 (g de água/kg de ar seco)	22,5 (g de água/kg de ar seco)	5 (g de água/kg de ar seco)	22,5 (g de água/kg de ar seco)
0,2 m/s	37	30	32	25
0,85 m/s	39	36	36	34
1,5 m/s	41	40	36	31

Valores encontrados para vacas Holandesas de 600kg, com espessura de pelame igual a 3 mm.

Segundo Thompson (1974), os efeitos de altas temperaturas de bulbo seco são reduzidos pela movimentação do ar, uma velocidade do ar de 2,2 a 4,5 m/s reduz a perda de produção atribuída às altas temperaturas do ar. De acordo com Harner e Smith (2008), a instalação de defletores no interior de galpões de confinamento, como aqueles encontrados no LPCV, pode aumentar a velocidade do vento sobre os animais de 0,8 para 2,5-3,5 metros por segundo. Harner et al. (2007) observaram faixa similar de velocidade de 2,6 a 3 m/s em um galpão LPCV, durante os meses de verão.

Shiao et al. (2011) demonstraram que quando a Vv média diária aumentou de 1,66 para 2,38 m/s, vacas confinadas em galpão freestall de ventilação tipo túnel com painéis evaporativos e galpão FVA produziram quantidade similar de leite. Mostrando que uma adequada ventilação em sistemas abertos pode promover conforto aos animais.

Hinkle et al. (1983) apud Baeta e Souza (1997) recomendaram que as taxas de ventilação para vacas (450kg) em galpão freestall deve ser de 12 m³/s no inverno, 47 m³/s no outono e primavera, e 140 a 240 m³/s no verão.

1.3.3. Geoestatística para avaliação do microclima na produção animal

A geoestatística é um conjunto de métodos estatísticos utilizados para analisar a variabilidade e prever valores de uma variável de interesse. O procedimento proposto pela geoestatística difere da estatística clássica. Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre

pontos de amostragem, a geoestatística considera dependência de variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas.

Quando a amostragem envolve duas direções (x,y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o variograma (Silva, 1988). O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar, quantitativamente, a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (Huijbregts, 1975).

Miraglotta et al. (2006) observaram, estudando a variabilidade das condições do ambiente térmico, aéreo e acústico dentro de um galpão de frangos de corte usando ventilação tipo túnel (12 x 115m), por meio da geoestatística utilizando uma malha com 132 pontos, que as zonas de estresse estavam localizadas nos extremos do galpão do tipo túnel.

Faria et al. (2008) coletaram variáveis microclimáticas (T_{bs}, UR, V_v e L) em uma malha regular com 152 pontos no interior de um galpão freestall convencional. Através do uso da geoestatística, os autores conseguiram encontrar áreas específicas no galpão onde as variáveis estavam acima do recomendado para o conforto animal.

Com o objetivo de caracterizar o perfil microclimático (T_{bs}, UR e h) da carga de caminhões de transporte de frangos de corte, Barbosa Filho et al. (2009) instalaram 47 dataloggers ao longo da carga de caminhões. A utilização da geoestatística pelo método de krigagem ordinária possibilitou que os autores detectassem que as regiões central e traseira da carga do caminhão eram as mais problemáticas para as aves, do ponto de vista microclimático, portanto, as mais propícias à ocorrência de perdas.

Nazareno et al. (2013) utilizando a mesma técnica, mas para caracterizar o perfil térmico em caminhões baú de transporte de ovos, também encontraram que as piores regiões microclimáticas estão localizadas nas partes central e traseira do baú.

Borges et al. (2010) avaliaram a captação automática dos níveis de pressão sonora (ruídos) em uma sala de creche para suínos (40m²). Utilizou-se a geoestatística para avaliar a dependência espacial entre os decibélimetros (distribuídos em 10 pontos equidistantes), e verificou homogeneidade de propagação dos níveis de pressão sonora, concluindo que, para o ambiente avaliado, o uso de somente um decibélimetro era suficiente.

Carvalho et al. (2012) avaliaram aviários comerciais de produção com diferentes sistemas de ventilação mínima e tipologia, em relação a qualidade do ar e conforto térmico, por meio de uma amostragem de Tbs, UR e Vv em 80 pontos equidistantes, concluíram que nenhum dos aviários estudados apresentaram condições de conforto térmico ideal.

Com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial da temperatura do ar na sala de pré-ordenha (48 m²) com sistema de nebulização automatizado, Silva et al. (2012) registrou dados de 35 pontos equidistantes 1 m. Por meio da construção de mapas de krigagem, os autores verificaram áreas na sala de pré-ordenha que apresentaram valores acima do recomendado para o conforto térmico.

As técnicas de geoestatística, como a construção de mapas de krigagem, podem auxiliar no melhor domínio das informações de ambiência em instalações zootecniais, e, assim, proporcionar ferramentas mais eficientes e eficazes para identificação de possíveis problemas do sistema de produção.

1.3.4. Considerações Finais

Por meio da revisão bibliográfica, este estudo buscou definir faixas adequadas de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e velocidade do vento para o confinamento de vacas Holandesas em lactação. Desse modo, a faixa de temperatura entre 12 e 18°C foi considerada como a zona de conforto térmico, a faixa de temperatura entre 18 e 25°C foi considerada como a zona termoneutra, e assim, a temperatura superior crítica foi estabelecida como de 25°C.

Em relação à umidade relativa do ar, a zona de conforto estabelecida foi de 50 a 70%. A faixa de umidade variando entre 70 e 80% foi considerada zona de termoneutralidade, sendo 80% de umidade relativa no ambiente o limiar superior crítico.

Em relação à velocidade do vento, a faixa ideal para confinamento de vacas em lactação foi de 2 a 4 m/s. Apesar de alguns estudos apresentarem o efeito dessa variável sobre os limites críticos de temperatura e umidade, principalmente, sobre o valor da temperatura crítica superior, o presente estudo não considerou a extensão dos valores críticos, uma vez que não havia embasamento científico suficiente para aplicação nas condições avaliadas.

De acordo com as divergências entre autores referentes ao Índice de Umidade e Temperatura (THI) para classificação do estresse térmico em vacas leiteiras, o estudo optou por quantificar a quantidade de calor presente nos ambientes de produção por meio de uma propriedade psicrométrica do ar, a entalpia específica. Desse modo, adotou-se a equação proposta por Rodrigues et al. (2010), que é uma reformulação da equação de Albright (1990). Mas, o THI também foi avaliado, uma vez que este índice ainda é muito utilizado, tanto no meio de produção quanto no meio acadêmico.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, I.D.; TARGA, L.A. 1999. Respostas termorreguladoras, armazenamento de calor corporal e produção de leite de vacas holandesas mantidas ao sol e com acesso à sombra natural. *Energia na Agricultura*, v. 14, n. 4, p. 9-21.
- ALBRIGHT, L.D., 1990. Environment control for animals and plants. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA.
- AKYUZ, A.; BOYACI, S.; CAYLI, A. 2010. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v. 9, n. 13, p. 1824-182.
- ALBRIGHT, L.D. 1990. Environment control for animals and plants. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA.
- AL-KATANANI, Y.M.; PAULA-LOPES, F.F.; HANSEN, P.J. 2002. Effect of Season and Exposure to Heat Stress on Oocyte Competence in Holstein Cows. *Journal of dairy science*, v. 85, n. 2, p. 390-396.
- ASHRAE.1993. ASHRAE handbook—fundamentals, [chapters 6- 8].
- AZEVEDO, M.; PIRES, M.D.F.Á.; SATURNINO, H.M.E.G.D.L.; LANA, Â.M.Q.E.G.D.L.; SAMPAIO, I.B.M.E.G.D.L.; MONTEIRO, J.B.N.E.G.D.L.; MORATO, L.E.U. 2005. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em lactação. *R. Bras. Zootec.*, v.34, n.6.
- BACCARI JR., F.1998. Adaptação de sistemas de manejo na produção de leite em clima quente. In: Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite, Piracicaba, 1998. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998. p.24 -67.
- BAETA, F.C. 1997 ambiência em edificações rurais. Editora UFV. p. 269.

- BARBERG, A.E.; ENDRES, M.I.; JANNI, K.A. 2007. Compost dairy barns in Minnesota: A descriptive study. *J. Appl. Eng. Agric.*, v. 23, p. 3:97–102.
- BARBOSA FILHO, J.A.D., VIEIRA, F.M.C., SILVA, I.J.O., GARCIA, D.B., SILVA, M.A.N, FONSECA, B.H.F. (2009). Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n.12, p. 2442-2446.
- BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, M.A.N.; VIEIRA, F.M.C.; SILVA, I.J.O. (2007) Avaliação Direta e Prática - Caracterização do Ambiente Interno de Galpões de Criação de Frangos de Corte Utilizando Tabelas Práticas de Entalpia. *Avic Ind.* v.1144, p.54–57
- BERMAN, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.*, v. 83, p. 1377–1384.
- BERMAN, A.; FOLMAN, Y., KAIM, M., MAMEN, M., HERZ, Z., WOLFENSON, D., ARIELI, A.; GRABER, Y. (1985.) Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*, v. 68, p. 1488-1495.
- BIANCA, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature*, v. 195, p. 251 - 252.
- BODMAN, G.R. 1983. Non-mechanical ventilation-designing for function. *Proceedings of the 2nd National Dairy Housing Conference, Madison, WI, ASAE*, p. 122-129.
- BOHMANOVA, J; MISZTAL, I; COLE, J.B. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J Dairy Sci. Apr.*, v. 90, n. 4, p. 1947-56.
- BORGES, G., SILVA-MIRANDA, K.O., RODRIGUES, V.C., RISI, N. 2010. Uso da geoestatística para avaliar a captação automática dos níveis de pressão sonora

em instalações de creche para suínos. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.3, p.377-385.

BOURAOUI, R.; LAHMAR, M.; MAJDOUB, A.; DJEMALI, M. N.; BELYEA, R. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*, v. 51, n. 6, p. 479-491.

BRODY, S.; RAGSDALE, A.C.; THOMPSON, H.J., WORSTELL, D.M., 1954. Environment physiology with special reference to domestic animals. XXV The effect of wind on milk production, feed and water consumption and body weight in dairy cattle. n.545, p.1-20.

BROUCČEK J. 1997. Effect of high temperatures on cattle. *Agriculture*, 43, 522–542.

BROUK, M.J.; ARMSTRONG, D.; SMITH, J.; VANBAALE, M.; BRAY, D.; HARNER, J., III. 2003. Evaluating and Selecting Cooling Systems for Different Climates. Available online: <http://articles.extension.org/pages/17586/evaluatingand-selecting-cooling-systems-for-different-climates> (acesso em 21 fev 2016).

BROUK, M.J.; SMITH, J.F.; HARNER III, J.P. 2001. Efficiency of modified evaporative cooling in Midwest dairy freestall barns. In: *Livestock and Environment VI: Proc. 6th Int. Symp.*, Louisville, KY. ASAE, St. Joseph, MI. p. 412-418.

BUCKLIN, R.A., TURNER, L.W., BEEDE, D.K., BRAY, D.R., HEMKEN, R.W. 1991. Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Applied Engineering In Agriculture*, v. 7, n. 2, p. 241-247.

BUCKLIN, R.A.; BRAY D.R. 1998. The american experience in dairy management in warm and hot climates. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE*. Piracicaba, 1998. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998. p.156 – 174.

- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. TRANSACTIONS of the ASAE, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLIER, R.J.; CANTON, G.H. 1983. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. Trans. ASAE, v. 26, p.1798–1802.
- CARVALHO, T.M.R.; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M; SOUZA, G.S.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O. 2012. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. Revista Brasileira Zootecnia, v. 41, n. 1, p. 194-202.
- CHAPINAL, N.; CARSON, M.; DUFFIELD, T. F.; CAPEL, M.; GODDEN, S.; OVERTON, M.; SANTOS, J.E.P.; LEBLANC, S.J. 2011. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. Journal of dairy science, v. 94, n. 10, p. 4897-4903.
- CHEN, J.M.; SCHÜTZ, K.E.; TUCKER, C.B. 2016. Cooling cows efficiently with water spray: Behavioral, physiological, and production responses to sprinklers at the feed bunk. J. Dairy Sci., v. 99, p. 4607–4618.
- COLLIER, R.J.; DAHL, G.E.; VANBAALE, M.J. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. J. Dairy Sci., v. 89, p. 1244–1253.
- COOK, N.B. 2003. Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface. Journal of the American Veterinary Medical Association, v. 223, n. 9, p. 1324-1328.
- COOK, N.B.; BENNETT, T.B.; NORDLUND, K.V. 2004. Effect of free stall surface on daily activity patterns in dairy cows with relevance to lameness prevalence. Journal of dairy science, v. 87, n. 9, p. 2912-2922.

- COOK, N.B.; MENTINK, R.L.T.B.; BENNETT, T.B.; BURGI, K. 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 90, p. 1674-1682.
- CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. (Eds.). *Introdução a Engenharia Agrícola*. Campinas: Unicamp, 1992.
- DEVRIES, T.J.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; WEARY, D.M. 2004. Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of freestall housed lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, v. 87, n. 5, p. 1432-1438.
- DICKMEN, S.S.; HANSEN, P.J. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?. *J. Dairy Sci.* v. 92, p. 109–116.
- ESMAY, M.L. *Principles of animal environment*. 1969. 2nd ed., Westport: ABI Publishing, 1969, 325p.
- ESPEJO, L.A.; ENDRES, M. I.; SALFER, J.A. 2006. Prevalence of lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns in Minnesota. *Journal of dairy science*, v. 89, n. 8, p. 3052-3058.
- FARIA, F.F; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M.; MATARAZZO, S.V. 2008. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505.
- FRAZZI, E.; CALAMARI, L.; CALEGARI, F. 2002. Productive response of dairy cows to different barn cooling systems. *Trans. ASAE*, v. 45, p. 395–405.
- FREGONESI, J.A.; TUCKER, C.B.; WEARY, D.M. 2007. Overstocking reduces lying time in dairy cows. *Journal of dairy science*, v. 90, n. 7, p. 3349-3354.
- FUQUAY, J.W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *Journal of animal science*, v. 52, n. 1, p. 164-174.

- FURLAN, R.A. (2001) Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido. 146 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GAUGHAN, A.; MADER B.; HOLT, C., HAHN, D.; YOUNG, B.A. 2002. Review of current assessment of cattle and microclimate during periods of high heat load. *Anim. Prod. Aust.*, v. 24, p. 77-80.
- GAUGHAN, J.B.; HOLT, S.M.; HAHN, G.L.; MADER, T.L.; EIGENBERG, R. 2000. Respiration rate-is it a good measure of heat stress in cattle?. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 13, p. 329-332.
- HAHN, G.L. Compensatory performance in livestock: influences on environmental criteria. *Proc 2 International Livestock Environment Symposium*, Ames, 1982.
- HARNER, J.P., J.F. SMITH, K. DHUYVETTER. 2009. Temperature changes in low profile cross ventilated dairy facilities. Paper no. 096770 in *ASAE Annu. Int. Mtg.*, p. June 21-24, Reno, Nevada.
- HARNER, J.P.; SMITH, J.F. 2008. Low-profile cross-ventilated freestall facilities—A 2 year summary. In: *Proceeding of the 2008 High Plains Dairy Conference*. Albuquerque: High Plains Dairy Conference. p. 65-78.
- HARNER, J.P.; SMITH, J.F.; DE HARO MARTI, M.; SHEFFIELD, R.; ZULOVICH, J.; POHL, S.; PASIKANTI, S.; FULHAGE, C.D.; NICOLI, R.E.; HETCHLER, B.; JACOBSON, L. 2007. Characteristics of low-profile cross-ventilated freestalls. In: *Sixth international dairy housing conference proceeding*, ASABE publication.
- HERNANDEZ-MENDO, O.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; VEIRA, D.M.; WEARY, D.M. 2007. Effects of pasture on lameness in dairy cows. *Journal of dairy science*, v. 90, n. 3, p. 1209-1214.

- HINKLE, C.N.; STOMBAUGH, D.P. 1983. Quantity of air flow for livestock ventilation. In: Ventilation of Agriculture Structures. HELLINCKSON, M.A. & WALKER, J.N. ASAE. p. 169-91.
- HUBER, J.T. 1990. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. Bovinocultura leiteira. Piracicaba: FEALQ, p. 33-48.
- HUHNKE, R.L.; MCCOWAN, L.C.; MERAZ, G.M.; HARP, S.L.; PAYTON, M.E. 1998. Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. In: 2001 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1.
- HUZZEY, J.M.; DEVRIES, T.J., VALOIS, P.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. 2006. Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle. Journal of dairy science, v. 89, n. 1, p. 126-133.
- IGONO, M.O.; BJOTVEDT, G.; SANFORD-CRANE, H.T. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. Int. J. Biometeorol, v. 36, p. 77-87.
- JOHNSON H.D. 1987. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production. In: Johnson Harold D. (ed.): Bioclimatology and the Adaptation of Livestock. World Animal Science, B5, Chapter 3, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands. 35–57.
- JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. 1962. Effects of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. University of Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin, 791.
- JOHNSON, H.D. 1965. Environmental temperature and lactation (with special reference to cattle). International Journal of Biometeorology, 9, 103-116.

- JOHNSON, H.D.; VANJONACK, W.J. 1976. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *Journal of Dairy Science*, v. 59, n. 9, p. 1603-1617.
- JOHNSON, H.D. 1980. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *International Journal Biometeorology*, Lisse, v.24, n.1, p.5-78.
- KARIMI, M.T.; GHORBANI, G.R.; KARGAR, S.; DRACKLEY, J.K. 2015. Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 98, p. 6865–6875.
- KELLY, C.F.; BOND, T.E. 1971. Bioclimatic factors and their measurements. In National Research Council (Ed.), *A guide to environmental research on animals*, pp. 7-92.
- KIBLER, H.H. 1964. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses LXVII *Environmental physiology and shelter engineering*, p. 862 .
- LCI. (1970). *Patterns of transit losses*. Omaha, NE, USA: Livestock Conservation Inc. (LCI).
- LEMERLE, C.; GODDARD, M.E. 1986. Assessment of heat stress in dairy cattle in Papua New Guinea. *Tropical animal health and production*, v. 18, n. 4, p. 232-242.
- LIN, J.C.; MOSS, B.R.; KOON, J.L.; FLOOD, C.A.; SMITH, R.C., III; CUMMINS, K.A.; COLEMAN, D.A. 1998. Comparison of various fan, sprinkler, and mister systems in reducing heat stress in dairy cows. *Appl. Eng. Agric.*, v. 14, p. 177–182.
- LOPEZ, H.; SATTER, L.D.; WILTBANK, M.C. 2004. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Animal reproduction science*, v. 81, n. 3, p. 209-22.

- MIRAGLIOTTA, M.Y., NÄÄS, I.A., MANZIONE, R.L., NASCIMENTO, F.F. 2006. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. *Scientia Agricola*, v. 63, n. 5, p. 426-432.
- MÜLLER, P.B. 1982. *Bioclimatologia, aplicada aos animais domésticos*. 3ª ed. Ed. Sulina. Porto Alegre. 262 p.
- NÄÄS, I.A. *Princípios de conforto térmico na produção animal*. São Paulo: Ed. Ícone, 1989. 183 p.
- NÄÄS, I.A. *Tipologia de instalações em clima quente*. 1998. In: *Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite*, Piracicaba, 1998. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, 1998. p.146-155.
- NAZARENO, A.C., SILVA, I.J.O., VIEIRA, F.M.C., CAMARGO, J.R., MEDEIROS, S.R.R. 2013. Caracterização do microclima dos diferentes layouts de caixas no transporte de ovos férteis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 3, p. 327-332.
- NRC. National Research Council. 1981. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*. National Academy Press, Washington, D.C. Dr. Joe West, Extension Dairy Specialist, University of Georgia.
- OSPINA, P.A.; NYDAM, D.V.; STOKOL, T.; OVERTON, T.R. 2010. Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of dairy science*, v. 93, n. 2, p. 546-554.
- RICCI, G.D.; ORSI, A.M.; DOMINGUES, P.F. 2013. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção das vacas de leite. *Revista de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 20, n. 3, p. 9-18.

- RIEKERINK, R.G.M; BARKEMA, H.W.; KELTON, D.F.; SCHOLL, D.T. 2008. Olde et al. Incidence rate of clinical mastitis on Canadian dairy farms. *Journal of dairy science*, v. 91, n. 4, p. 1366-1377.
- RODRIGUES, V.C.; DA SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C.; NASCIMENTO, S.T. 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, v. 55, p. 455-459.
- ROENFELDT, S. 1998. You can't afford to ignore heat stress. *Dairy manage*, v. 35, n. 5, p. 6-12.
- ROSENBERG, L. J.; BIAD, B. L.; VERNIS, S. B. 1983. Human and animal biometeorology. In: *Microclimate, the biological environment*. New York: Wiley-Interscience Publication.
- RYAN, D.P.; BOLAND, M.P.; KOPEL, E.; ARMSTRONG, D.; MUNYAKAZI, L.; GODKE, R.A.; INGRAHAM, R.H. 1992. Evaluating two different evaporative cooling management systems for dairy cows in a hot, dry climate. *J. Dairy Sci.* v. 75, p. 1052–1059.
- SHEFFIELD, R.; DE HARO MARTI, M.; SMITH, J.F.; HARNER, J.P. 2007. Air emissions from a low-profile cross-ventilated dairy barn. In *Proc. Int. Symp. Air Quality and Waste Mgmt. for Agric.* ASAE Pub #701P0907. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph. MI.
- SHIAO, T.F; CHEN, J.C.; YANG, D.W.; LEE, S.N.; LEE, C.F.; CHENG, W.T.K. 2011. Feasibility assessment of a tunnel-ventilated, water-padded barn on alleviation of heat stress for lactating Holstein cows in a humid area. *J. Dairy Sci.* 94 :5393–5404.
- SILVA, I.J.O. 1998. Climatização das instalações para bovino leiteiro. In: *Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite*, Piracicaba, Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998. p.114-145.

- SILVA, I.M., PANDORFI, H., ALMEIDA, G.L.P., GUISELINI, C., CALDAS, A.M., JACOB, A.L. 2012. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p. 8, 903-909.
- SMITH, J.F.; HARNER, J.P.; DE HARO MARTI, M.; SHEFFIELD, R.; ZULOVICH, J.; POHL, S.; DHUYVETTER, K. 2007. Comprehensive evaluation of a low-profile cross-ventilated freestall barn. *Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference*, March 7-9, Reno, Nevada, p. 127-147.
- SMITH, J.F.; HARNER, J.P.; BRADFORD, B.J.; DHUYVETTER. 2008. Opportunities with Low Profile Cross Ventilated Freestall Facilities. *Dairy Housing of the future*. Sioux Falls, SD.
- SMITH, T.R.; CHAPA, A.; WILLARD, S.; HERNDON JR., C.; WILLIAMS, R.J.; CROUCH, J.; RILEY, T.; POGUE, D. 2006. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast. I: Effect on body temperature and respiration rate. *J. Dairy Sci.* v. 89, p. 3904–3914.
- STRICKLAND, J.T.; BUCKLIN, R.A.; NORDSTEDT, R.A.; BEEDE, D.K.; BRAY, D.R. 1989. Sprinkler and fan cooling system for dairy cows in hot, humid climates. *Appl. Eng. Agric.*, v. 5, p. 231–236.
- THOM, E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, v. 12, n. 2, p. 57-59.
- TITTO, E. A. L. 1998. Clima: influência na produção de leite. *Ambiência na produção de leite em clima quente*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 10-23.
- TUCKER, C.B.; WEARY, D.M.; FRASER, D. 2003. Effects of three types of freestall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows. *Journal of dairy science*, v. 86, n. 2, p. 521-529.

- TURNER, L.W.; CHASTAIN, J.P.; HEMKEN, R.W.; GATES, R.S.; CRIST, W.L. 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *Appl. Eng. Agric.*, v. 8, p. 251–256.
- VITALI, A.; SEGNALINI, M.; BERTOCCHI, L.; BERNABUCCI, U.; NARDONE, A.; LACETERA, N. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* v. 92, p. 3781-3790.
- WEST, J.W. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* , v. 86 , Issue 6 , 2131 – 2144.
- WISE, M.E.; ARMSTRONG, D.V.; HUBER, J.T.; HUNTER, R.; WIERSMA, F. 1988. Hormonal Alterations in the Lactating Dairy Cow in Response to Thermal Stress. *Journal of Dairy Science*, v. 71, n. 9, p. 2480-2485.
- YOUSEF, M.K. 1987. Effects of climatic stresses on thermoregulatory processes in man. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v. 43, n. 1, p. 14-19, 1987.
- ZWALD, A.G.; RUEGG, P.L.; KANEENE, J.B.; WARNICK, L.D.; WELLS, S.J.; FOSSLER, C.; HALBERT, L.W. 2004. Management practices and reported antimicrobial usage on conventional and organic dairy farms. *Journal of Dairy Science*, v. 87, n. 1, p. 191-201.

2. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DE GALPÕES FREESTALL DE LATERAIS ABERTAS E FECHADAS

Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar comparativamente o desempenho térmico de um galpão freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (LPCV) com um galpão freestall convencional com uso de ventiladores e aspersores (FVA), para o confinamento de vacas Holandesas em lactação, em região de clima quente e úmido. A pesquisa foi realizada durante as estações primavera, verão e outono. As variáveis temperatura de bulbo seco ($T_{bs}, ^\circ\text{C}$), temperatura de globo negro ($T_{gn}, ^\circ\text{C}$), umidade relativa do ar (UR, %) e velocidade do vento ($V_v, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) foram registradas sendo utilizadas para análise do Índice de Temperatura e Umidade (THI), da entalpia específica do ar (h) e da carga térmica radiante (CTR). As análises de T_{bs} , THI, T_{gn} , V_v e CTR mostraram que o LPCV apresentou melhor desempenho, mantendo as médias dos turnos diários dentro da faixa de termoneutralidade. No entanto, quando analisado o índice de entalpia, tanto o ambiente externo quanto os ambientes avaliados apresentaram médias dentro da faixa de termoneutralidade, sendo o FVA aquela que apresentou as menores médias. O LPCV, assim como o FVA, não foi eficiente em manter as variáveis microclimáticas dentro da zona de conforto durante todo o período avaliado, mas pode-se afirmar que este sistema promoveu um maior controle do microclima interno, registrando as menores amplitudes térmicas. Comparado ao ambiente externo, o LPCV reduziu em 26%, 19% e 2% o tempo de exposição dos animais a T_{bs} acima de 25°C , THI acima de 74 e h acima de $64 \text{ kJ}\cdot\text{kg de ar seco}^{-1}$. Mas, também, reduziu o tempo de exposição das vacas dentro das faixas ótimas de conforto, devido aos valores de UR que se mantiveram acima de 80%, durante todo o período avaliado. O FVA registrou uma redução de 2,3% no tempo de exposição dos animais a T_{bs} acima de 25°C e THI acima de 74, e uma redução de 5% para h acima de $64 \text{ kJ}\cdot\text{kg de ar seco}^{-1}$. O sistema LPCV se mostrou mais eficaz no controle do ambiente interno em condições externas mais estressantes, temperatura acima de 30°C e umidade relativa do ar acima de 70%.

Palavras-chave: estresse térmico, sistema de resfriamento evaporativo, entalpia específica do ar, vacas leiteiras.

Abstract

The aim of this study was to compare the thermal performance of a closed freestall barn with a low-profile cross-ventilated freestall (LPCV) with a conventional freestall barn with fans and sprinklers (FVA), for the confinement of lactating Holstein cows in hot and humid climate. The research was conducted during spring, summer and fall seasons. Dry-bulb temperature (T_{db} , °C), black globe temperature (T_{bg} , °C), relative air humidity (UR, %) and air velocity (V_v , m.s⁻¹) were registered and subsequently used to determine temperature humidity index (THI), specific air enthalpy (h) and radiant heat load (CTR). T_{db} , THI, T_{bg} , V_v and CTR analysis showed a better result in LPCV, keeping the average of daily shifts within thermo-neutral range. However, when enthalpy index was analyzed, the three environments showed averages within thermo-neutral range, being the FVA with the lowest averages. LPCV, as well as FVA, was not efficient in keeping microclimatic variables within the comfort zone during the whole evaluated period, but this system promoted a greater control of internal microclimate, registering the lowest thermal amplitudes. Compared to external environment reduced animals exposure time at T_{db} above 25°C, THI above 74 and h above 64 kJ.kg dry air⁻¹ by 26%, 19% and 2%. Yet, it also reduced cows' exposure time within optimal comfort ranges, due to UR values that remained above 80% throughout the evaluated period. FVA registered a 2.3% reduction of animal exposure time at T_{db} above 25°C and THI above 74, and 5% reduction when h above 64 kJ.kg dry air⁻¹. LPCV system proved to be more effective in controlling internal environment in more stressful external conditions, temperature above 30°C and relative air humidity above 70%, the producer must pay attention to the activation of exhaust fans even in periods of mild stress.

Key-words: heat stress, cross-ventilation, evaporative cooling panels, dairy cows

2.1. Introdução

O estresse térmico em bovinos leiteiros é um dos principais fatores que influenciam na produtividade, reprodução, e doenças metabólicas. Em países com clima (sub)tropical, tal como o Brasil, altos valores de temperatura e umidade do ar estão entre os principais estressores que afetam o desempenho do rebanho, especialmente quando se considera os animais de alta produtividade, geneticamente desenvolvidos em zonas temperadas. O galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (sigla LPCV) é uma nova opção para o confinamento do rebanho leiteiro. O primeiro LPCV foi construído na Dakota do Sul (USA) em 2005 (GARCÍA et al., 2014) e atualmente este novo sistema começa a ser adotado pelos produtores brasileiros, em áreas de altos valores de temperatura e umidade do ar.

O galpão freestall LPCV, em inglês low-profile cross-ventilated, é uma instalação totalmente fechada. O termo “baixo-perfil” resulta do baixo ângulo do telhado 2° (0.5/12 pitch), e “ventilação cruzada” é devido ao sistema de ventilação mecânica, no qual o ar é insuflado através de painéis de resfriamento evaporativo localizados na lateral longitudinal do galpão e retirado por exaustores, localizados na lateral oposta. Defletores, também, são utilizados para garantir um movimento contínuo e direcionado do ar refrigerado. As características desse modelo de instalação freestall diferem dos padrões convencionais, que são laterais abertas e ângulo do telhado variando entre 14 e 18° (3/12 or 4/12 pitch) com ventilação natural e/ou mecânica (SMITH et al., 2008).

Os sistemas de resfriamento evaporativo são utilizados para diminuir a temperatura do ar em instalações com ventilação tipo túnel (Smith et al., 2006a e 2006b). No entanto, há pouca informação sobre o uso desse tipo de resfriamento em instalações freestall com ventilação cruzada.

Estudos anteriores, realizados na Arábia Saudita e no sudeste americano, demonstraram que o sistema túnel associado com painéis de resfriamento evaporativo durante os meses de verão reduziram taxas respiratórias, temperatura retal e o período de serviço, e aumentaram taxa de prenhez e produção de leite quando comparado a outras estratégias para mitigar o estresse térmico (RYAN et al., 1992; SMITH et al., 2006).

Segundo Smith et al. (2016), sistemas de resfriamento evaporativo são mais eficientes em regiões quente e seca devido à capacidade do sistema de aumentar a quantidade de água do ar através da mudança de estado da água de líquido para gasoso, que ocorrem nas placas evaporativas. Corroborando com Brouk et al. (2001), que apontaram que o uso desses painéis em regiões úmidas é menos eficiente, e pode promover um Índice de Temperatura e Umidade (THI) maior do que no ambiente externo.

Desse modo, o objetivo desse estudo foi avaliar comparativamente o desempenho térmico de um galpão freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada com um galpão freestall convencional climatizado e aberto, para o confinamento de vacas Holandesas em lactação, em região de clima quente e úmido.

2.2. Material e métodos

A pesquisa foi realizada entre setembro de 2014 e junho de 2015, totalizando 240 dias, durante as estações primavera, verão e outono. Os galpões freestall estavam localizados em uma propriedade leiteira comercial localizada no município de São Pedro, São Paulo, altitude de 580 m, coordenadas 22° 33' 14" de latitude Sul e 47° 58' 46" de longitude Oeste. O clima da região é do tipo Cwa da classificação Köppen, quente e úmido com estação chuvosa no verão e seco no inverno.

2.2.1. Caracterização dos galpões freestall para confinamento de vacas leiteiras

Os galpões freestall apresentavam diferentes tipologias, sendo:

FVA: freestall convencional de laterais abertas, ventilação natural associada ao sistema de aspersão e ventilação forçada;

LPCV: freestall fechado, com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (placas evaporativas + exaustores).

2.2.1.1. Galpão freestall aberto com aspersores e ventiladores (FVA)

O galpão do tipo freestall convencional (FVA) apresentou as seguintes características construtivas: orientação leste-oeste, 80 m de comprimento e 29 m de largura, e corredor central de 4,4 m. O freestall era dividido em duas seções com 114 baias cada, ou seja, capacidade de alojar 228 vacas em lactação. As linhas de alimentação se estendiam por todo o corredor central. A instalação com laterais abertas possuía cobertura de telha de barro, constituída de duas águas e com lanternim aberto na parte superior do telhado. O pé-direito era 4,5m no ponto mais baixo, e 8,5m no ponto mais alto. O piso era de concreto com ranhuras de 2,5 cm, espaçadas a 7 cm. Oito bebedouros eram distribuídos uniformemente no interior do galpão. O manejo de dejetos era automatizado, por meio de raspadores a cabo. O sistema de ventilação era composto por 18 ventiladores. Oito ventiladores eram distribuídos sobre as baias e dez ventiladores sobre a linha de cocho, equipados com motor 1,5cv e 1750rpm. O sistema de aspersão se localizava a 1,90m do piso, sobre a linha de alimentação, com espaçamento entre bicos de 1m (Figura 5). O sistema de aspersão era acionado no período da tarde, com intermitência de 12 minutos. O galpão FVA alojava as vacas em pré-parto, o número de animais variou de acordo com a disponibilidade da fazenda.

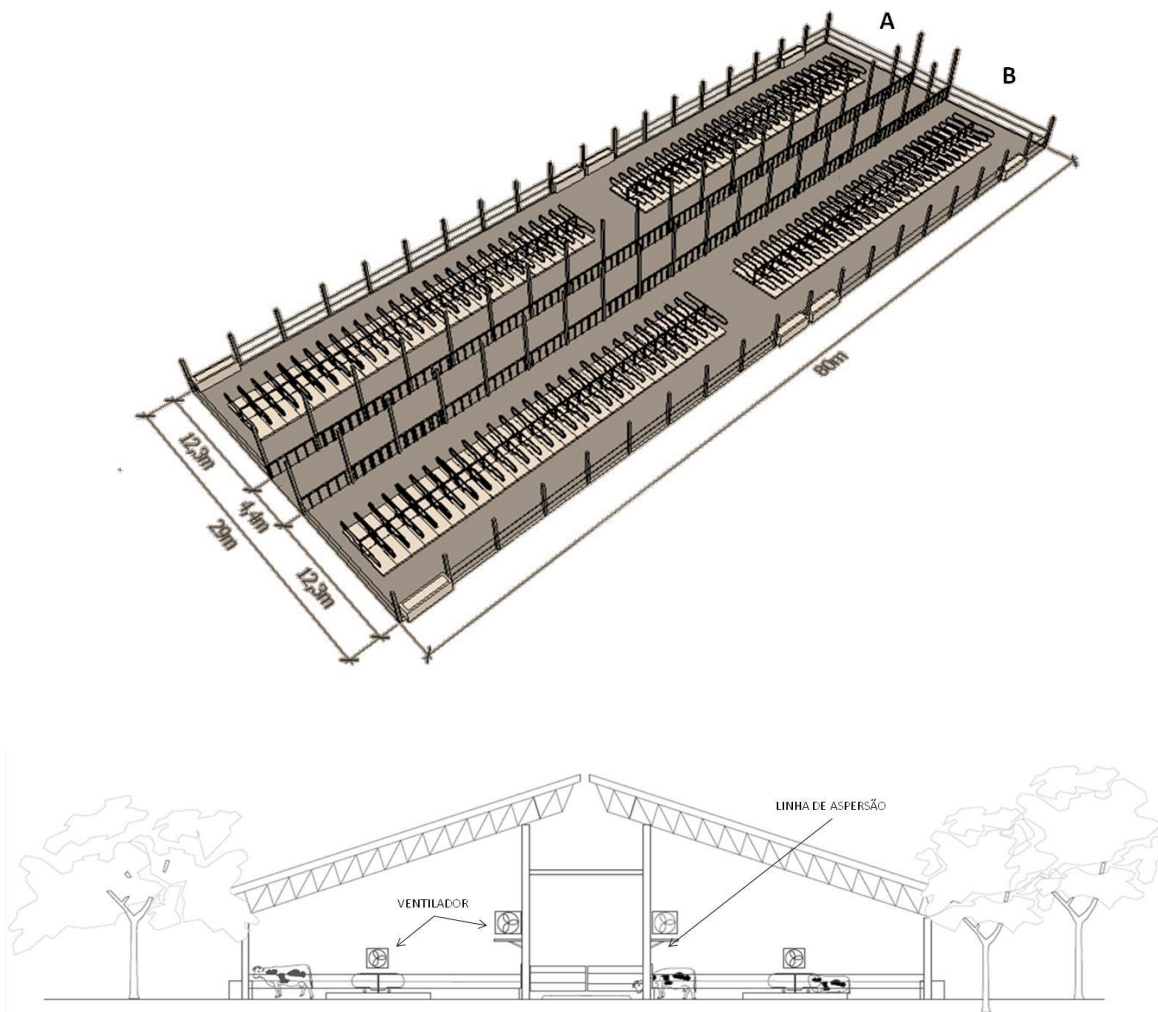


Figura 5. Representação gráfica do galpão freestall convencional (FVA), laterais abertas com ventilação natural associada à ventilação forçada, quatro linhas de baias livres em duas seções (A e B).

2.2.1.2. Galpão freestall fechado com sistema de ventilação cruzada (LPCV)

Na Figura 6, há uma representação do freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada. O galpão apresentou as seguintes características construtivas: orientação leste-oeste, 63 m de comprimento e 60 m de largura, totalmente fechado e teto isolado por forro de polietileno. O galpão apresentava quatro seções com 80 baias cada, ou seja, capacidade de alojar 320 vacas em lactação. O telhado em seis águas foi resultado de uma ampliação de uma antiga instalação freestall convencional com laterais abertas. Desse modo, a

cobertura central foi constituída em telha de barro, enquanto as coberturas laterais eram de chapas galvanizadas. A altura interna do galpão era de 4 metros, com presença de forro de polietileno, para isolamento térmico. Trezentos e vinte baias livres, cama composta por colchão sintético sob fina camada de areia e serragem, eram distribuídas uniformemente entre as quatro seções.

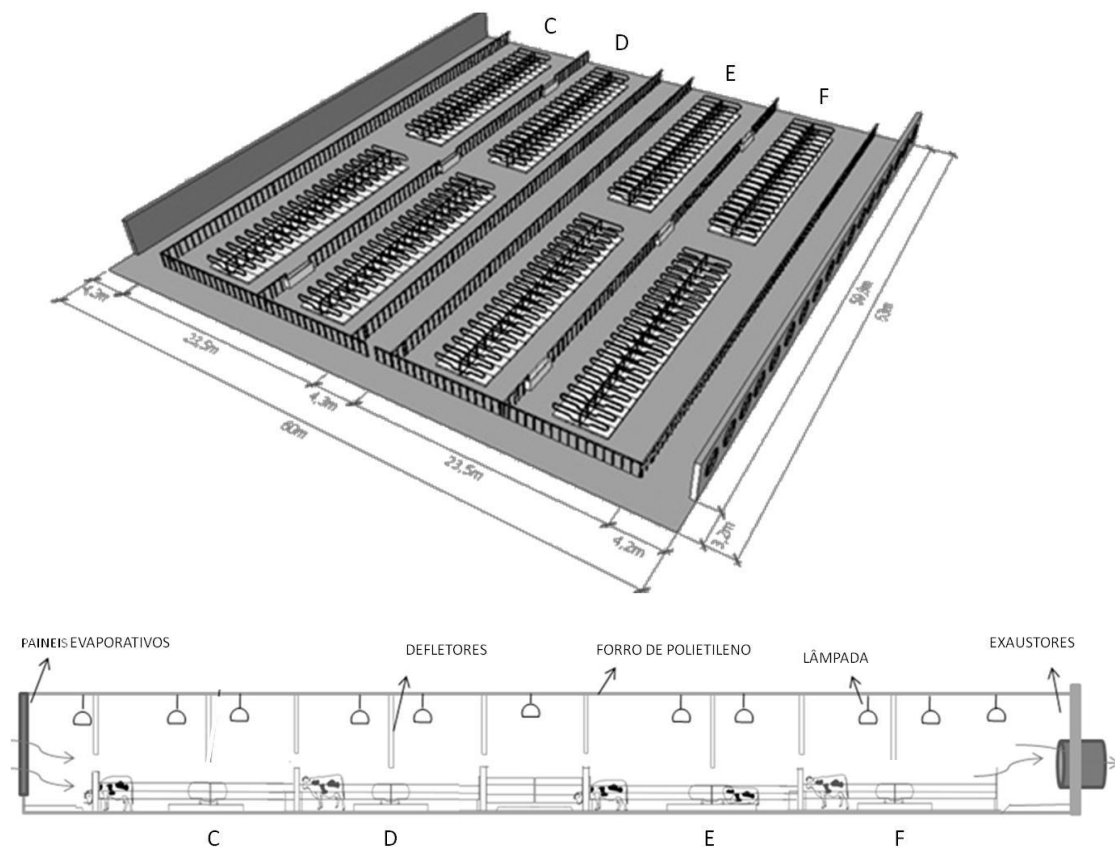


Figura 6. Representação gráfica do freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (LPCV), destaques para o painel de placas evaporativas (lateral esquerda), 32 exaustores (lateral direita), 8 linhas de baias livres dentro de 4 seções (sendo a seção C, aquela próxima a entrada de ar; e F, próxima a saída de ar).

O sistema de iluminação artificial (19D:5N) era constituído de lâmpadas brancas de 85 W a 135 W distribuídas ao longo de toda instalação, 16 lâmpadas por seção. O piso de concreto apresentava ranhuras de 2,5cm e espaçamento de 7 cm. Quatro linhas de alimentação, com canzil, estavam localizadas nos corredores laterais e central. Seis bebedouros eram distribuídos uniformemente no interior do galpão. O manejo de dejetos era automatizado, por meio de raspadores a cabo.

O controle do ambiente interno era realizado por meio de 32 exaustores de três pás, equipados com motor trifásico de 1,5 cv e 1730 rpm, distribuídos por toda a lateral do galpão. Na lateral oposta, encontravam-se os painéis de resfriamento evaporativo constituídos de placas corrugadas de celulose. Nove defletores metálicos instalados longitudinalmente no interior do galpão promoviam o direcionamento do ar. O sistema dos painéis evaporativos funcionava com um volume de 20-50 m³ de água por dia, e uma vazão de 15.000 l/h em circuito fechado.

O controle das variáveis climáticas no interior do galpão era realizado por meio de dois cabos termopares. O acionamento do sistema de climatização era iniciado (start) com as condições de 18°C de temperatura do ar e 85% de umidade relativa.

Nesse galpão, confinou-se vacas holandesas em lactação, pertencentes a um rebanho comercial de alta produção, com características genéticas e morfológicas homogêneas. Na seção C, vacas recém paridas; seção D, vacas primíparas; seção E, vacas múltíparas; e seção F, vacas em final de lactação ou sob tratamento (por exemplo, mastite e laminite). Os animais eram ordenhados três vezes ao dia (4h30min, 11h30min e 19h).

Na figura 7, para melhor detalhamento das características e tipologia das instalações, encontram-se imagens em diferentes perspectivas de FVA e LPCV.

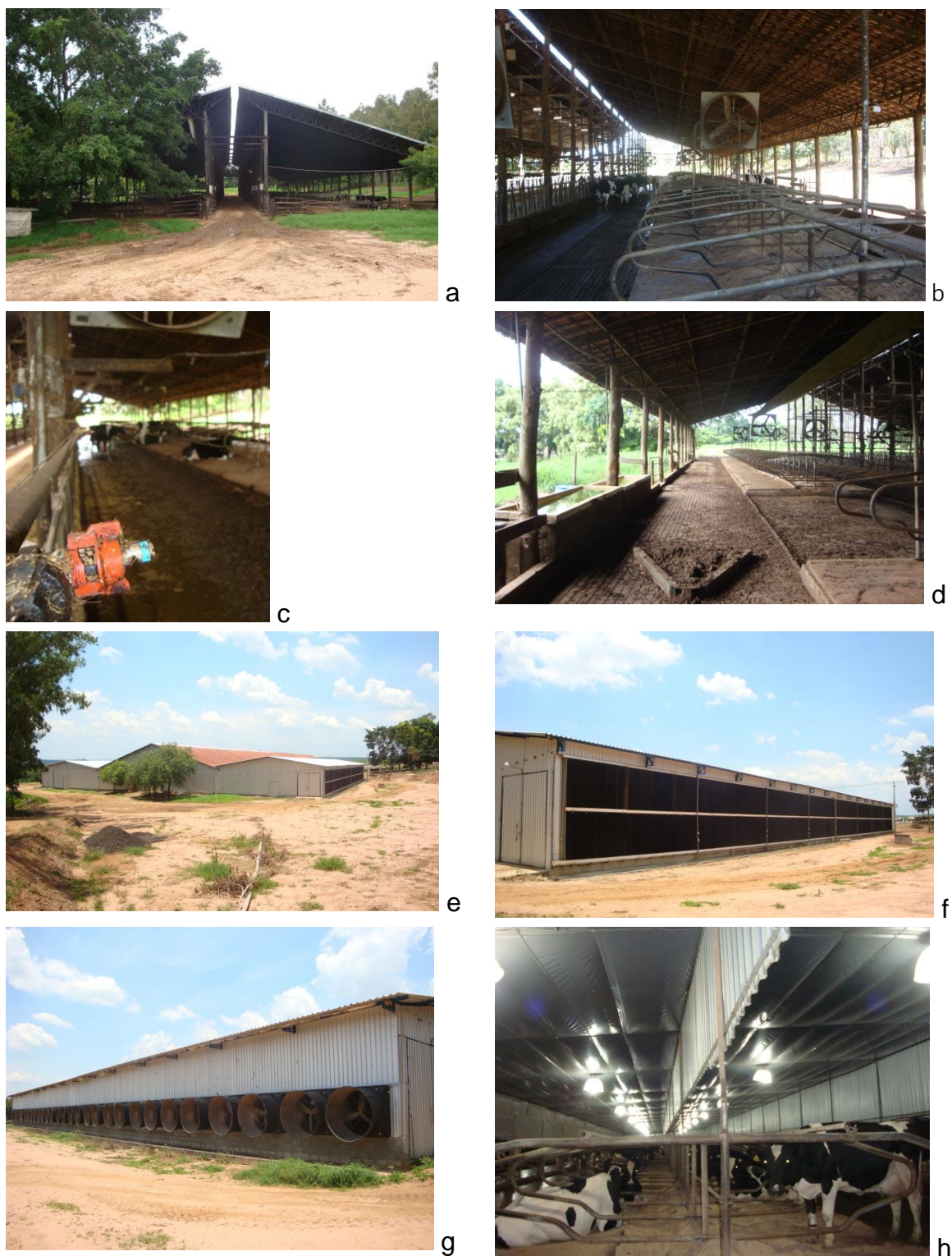


Figura 7. Imagens dos galpões do tipo freestall para confinamento de bovinos leiteiros. Vista externa do FVA (a); ambiente interno de FVA, com destaque para as duas linhas de ventiladores (b); sistema de aspersão sobre a linha de alimentação (c); sistema de raspadores automático e bebedouros (d). Vista externa do galpão LPCV (e); painéis evaporativos (f); 32 exaustores (g); ambiente interno de LPCV, destaque para os defletores, forro de polietileno e a iluminação artificial (h).

2.2.2. Avaliação bioclimática

2.2.2.1. Monitoramento dos atributos microclimáticos

Os ambientes internos e externo foram monitorados por meio de registradores automáticos, termômetros de globos negros, termo-higrômetros e anemômetro digital de hélice. As variáveis temperatura de bulbo seco (T_{bs} , °C), temperatura de globo negro (T_{gn} , °C), umidade relativa do ar (UR, %) e velocidade do vento (V_v , $m \cdot s^{-1}$) foram registradas e, posteriormente, utilizadas para análise do índice de temperatura e umidade (THI), da entalpia específica (h) e da carga térmica radiante (CTR), conforme esquematizado na figura 8.

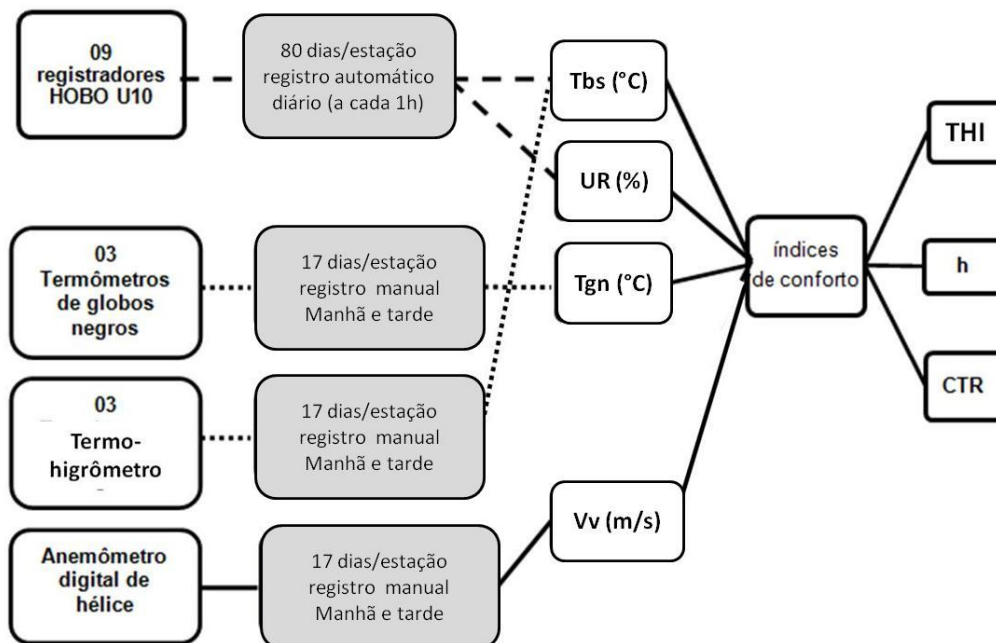


Figura 8. Equipamentos e metodologia utilizada para o monitoramento das variáveis físicas do ambiente interno e externo de dois galpões freestall (FVA e LPCV), e os índices de conforto térmico, durante o período de setembro de 2014 a junho de 2015.

Para o registro da temperatura e umidade relativa do ar, programou-se sistemas de aquisição de dados automático para medidas horárias (modelo HOBO U10, marca Onset, acurácia para temperatura de $\pm 0.4^{\circ}C$ de 0° to $40^{\circ}C$; UR de $\pm 5\%$ de 25% a 95% na faixa de 5° a $55^{\circ}C$), nas estações primavera, verão e outono. No galpão FVA, quatro registradores automáticos foram instalados no interior das seções A e B. O termômetro de globo negro e o termo-higrômetro foram instalados próximos ao centro geométrico do galpão, conforme figura 9.

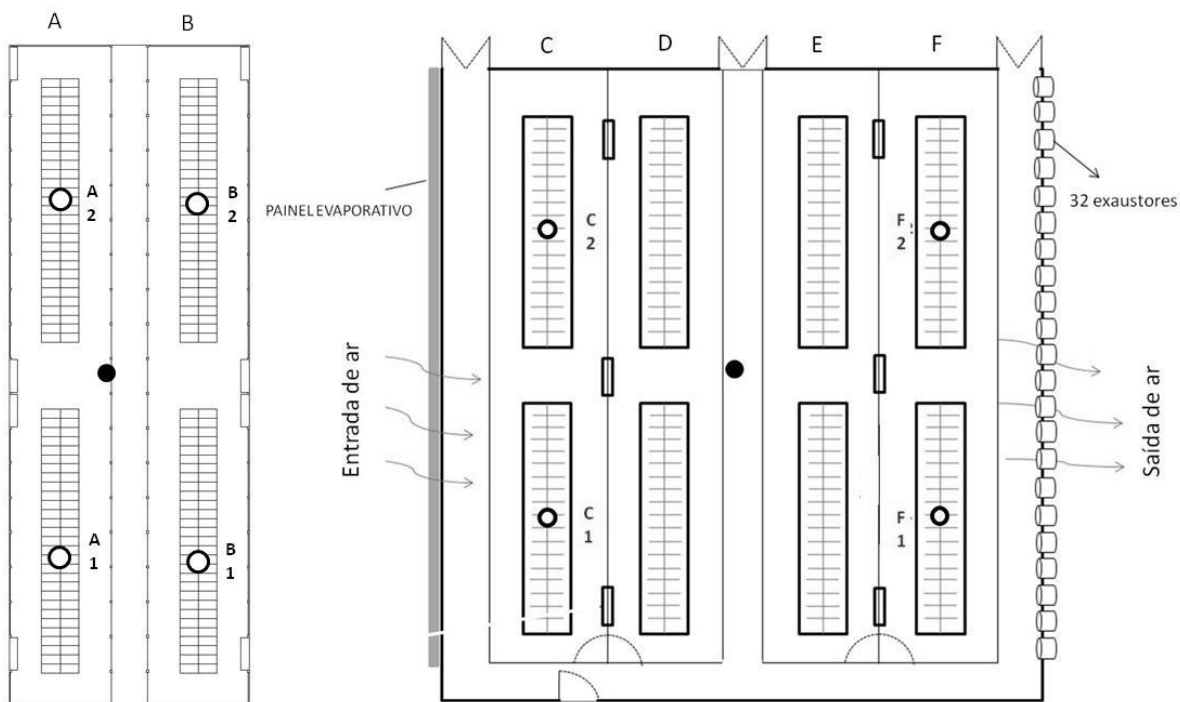


Figura 9. Posição dos registradores automáticos e do termômetro de globo negro nos galpões de confinamento. No interior de cada galpão foram instalados quatro registradores automáticos (circunferência preta) para registro de temperatura e umidade do ar. No galpão LPCV, havia dois registradores próximos às placas evaporativas (seção C), e outros dois próximos aos exaustores (seção F). No centro geométrico de cada galpão, instalaram-se um termômetro de globo negro e um termo-higrômetro (círculo preto).

No galpão LPCV, dois registradores foram instalados na seção mais próxima aos painéis evaporativos (C), e outros dois registradores na seção próxima aos exaustores (F), conforme Smith et al. (2007) e Lobeck et al. (2011). Como no FVA, o termômetro de globo negro e o termo-higrômetro foram instalados próximos ao centro geométrico do galpão (Figura 9).

No ambiente externo, próximos aos galpões de confinamento, encontrava-se um registrador automático (o qual foi inserido no interior de um abrigo meteorológico), um termômetro de globo negro e um termo-higrômetro.

A variável velocidade do vento (V_v) foi registrada por meio de anemômetro digital de hélice (modelo AN-10, marca ICEL[®]). As mensurações de T_{bs} , T_{gn} e V_v foram realizadas manualmente, no turno da manhã e tarde, em 34 dias não consecutivos, nas estações verão e outono. Todos os equipamentos foram posicionados a uma altura de 2 m do solo.

2.2.2.2. Índices de conforto térmico

Com o objetivo de avaliar a eficiência térmica dos galpões e potenciais condições de estresse térmico utilizou-se o Índice de Temperatura e Umidade (THI), a entalpia específica do ar (h) e a carga térmica radiante (CTR). Os índices foram calculados para o ambiente externo e para as seções A e B do galpão FVA, e seções C e F do galpão LPCV.

- a) Índice de Temperatura e Umidade (THI), proposto por Johnson e Vanjonack (1976):

$$THI = T_{bs} + 0,36 * T_{po} + 41,5$$

eq.5

onde: T_{bs} – temperatura de bulbo seco (°C); T_{po} – temperatura de ponto de orvalho (°C).

- b) entalpia específica do ar (h), proposta por Rodrigues et al. (2011):

$$h = 1,006 * T_{bs} + \frac{UR}{pb} 10^{\frac{7,5 * T_{bs}}{237,3 + T_{bs}}} (71,28 + 0,052 * T_{bs})$$

eq.4

onde: h - entalpia (kJ/kg de ar seco); T_{bs} – temperatura de bulbo seco (°C); UR – umidade relativa (%); P_b – pressão barométrica (mmHg), igual a 760 mmHg.

Considerou-se o valor da pressão barométrica de São Pedro, estado de São Paulo, Brasil, igual a 760 mmHg.

- c) carga térmica radiante (CTR), proposta por Esmay (1979):

$$CTR = t * (TMR^4)$$

$$TMR = 100 * ((2,51 * Var^{0,5} * (Tgn - Tbs) + (Tgn/100)^4)^{0,25})$$

eq.6

Onde: t – constante de Stefan-Boltzman ($5,67 * 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{k}^{-4}$); TRM – temperatura média radiante, k; Var – velocidade do ar, m.s^{-1} ; Tgn, temperatura de globo negro, k; T_{bs} – temperatura de bulbo seco, k.

As faixas de conforto térmico para vacas em lactação foram classificadas em zona ótima, termoneutra e crítica, como descrito na Tabela 8. Baseado em estudos prévios (BERMAN et al., 1985; CORTEZ e MAGALHÃES, 1992; BUCKLIN e BRAY, 1998; WEST, 2003) e na experiência de especialistas, definiu-se as faixas de temperaturas e umidades relativas ótimas e críticas para criação de bovinos leiteiros. Desse modo, a partir desses valores, calcularam-se as faixas de THI e h.

Tabela 8. Classificação do conforto térmico de vacas em lactação

Tbs (°C)	UR (%)	THI	h (kJ/kg de ar seco)	Classificação
Tbs < 5	UR < 30	THI < 42,4	h < 9,0	Zona crítica
5 ≤ Tbs < 12	30 ≤ UR < 50	42,4 ≤ THI < 54	9,0 ≤ h < 22,9	Faixa termoneutra
12 ≤ Tbs < 18	50 ≤ UR < 70	54 ≤ THI < 64	22,9 ≤ h < 40,5	Zona ótima
18 ≤ Tbs < 25	70 ≤ UR < 80	64 ≤ THI < 74	40,5 ≤ h < 64,7	Faixa termoneutra
Tbs ≥ 25	UR ≥ 80	THI ≥ 74	h ≥ 64,7	Zona crítica

2.2.3. Análise dos dados

Realizaram-se análises independentes por variável resposta, para as quais foram considerados experimentos seguindo o delineamento em blocos casualizados por estação, sendo 80 o número de repetições para Tbs, UR, THI e h, e 14 o número de repetições para Tgn, Tbs, Vv e CTR. Estes valores são correspondentes aos 80 dias de registros de Tbs e UR, nas estações primavera, verão e outono; e 17 dias de registro da Tbs, Tgn e Vv, nas estações verão e outono.

Os tratamentos foram as combinações dos ambientes, galpão FVA, LPCV e o ambiente EXT, com as médias de quatro turnos: 0-5h, 6-11h, 12-17h e 18-24h. Realizou-se análise de variância por variável resposta, considerando uma estrutura de parcela subdivididas no tempo, e o teste de Tukey para comparação das médias.

2.3. Resultados e Discussão

Obteve-se o total de 5.760 registros (240 dias* 24 horas) de temperatura e umidade relativa do ar, e, conseqüentemente, dos índices de conforto térmico THI e h, para cada um dos pontos de coleta de dados.

2.3.1. Caracterização geral do ambiente externo

A figura 10 ilustra a média horária mensal de temperatura de bulbo seco (Tbs, °C) com base nos dados coletados entre setembro de 2014 a junho de 2015, na fazenda comercial de leite, situada no município de São Pedro, SP.

O período entre 22h e 7h apresentou temperaturas abaixo de 25°C. Para todos os meses avaliados, com exceção de maio e junho, o período da tarde mostrou-se crítico para o conforto térmico de vacas leiteiras, registrando valores acima de 25°C. Nos meses de outubro e janeiro, esses valores ultrapassaram 30°C.

S	19,8	19,4	19,1	18,8	18,7	18,8	19,0	19,3	20,2	21,5	24,7	26,7	27,8	28,9	28,9	28,3	27,9	25,9	24,5	23,0	22,3	21,6	21,3	21,3
O	19,9	19,0	18,6	18,1	17,5	17,2	17,6	19,8	22,5	24,7	27,1	29,2	30,6	31,3	31,6	31,2	30,6	28,8	26,0	23,9	22,7	22,1	21,2	20,5
N	19,9	19,5	19,2	18,9	18,7	18,5	19,9	21,3	22,8	24,7	26,4	27,4	28,4	28,7	28,8	28,4	27,6	26,7	25,0	23,5	22,6	21,9	21,2	20,3
D	21,7	21,2	21,0	20,6	20,4	20,2	20,6	22,8	24,3	26,0	27,5	28,7	29,3	29,4	29,4	29,1	29,2	28,5	26,5	24,6	23,7	23,1	22,7	22,2
J	23,7	23,2	23,1	22,3	21,8	21,7	21,7	23,8	25,7	27,3	29,0	30,5	31,7	32,2	32,2	31,7	31,5	30,3	29,0	27,0	26,1	25,3	24,6	24,1
F	21,9	21,6	21,4	21,1	20,9	20,8	20,5	21,5	23,3	24,8	26,1	27,6	28,4	29,3	29,3	29,2	28,6	27,8	26,0	24,3	23,5	23,1	22,8	22,3
M	20,7	20,4	20,0	19,9	19,6	19,6	19,5	19,8	21,2	22,7	24,3	25,8	26,8	27,6	27,7	27,6	27,2	26,6	24,8	23,4	23,0	22,4	22,0	21,4
A	19,7	19,3	18,9	18,5	18,2	18,1	18,9	19,0	21,8	23,4	25,2	26,7	27,5	27,6	27,4	27,1	27,8	25,3	23,3	22,3	21,7	21,0	20,5	19,8
M	17,6	17,3	16,9	16,7	16,4	16,2	16,0	15,9	16,5	18,2	20,1	21,9	23,4	24,1	24,2	24,6	24,1	22,5	20,8	20,0	19,6	19,1	18,5	18,1
J	17,7	18,2	17,8	17,1	17,0	16,8	15,8	15,4	16,0	18,0	20,1	22,3	23,8	24,0	24,4	24,9	24,5	22,6	21,0	20,4	20,1	19,8	19,4	18,9
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

HORAS DO DIA

Figura 10. Média horária mensal da temperatura do ar no ambiente externo. Cinza claro, temperatura menor que 25°C; cinza escuro, temperatura entre 25 e 29,9°C; e preto, temperatura maior ou igual a 30°C.

A figura 11 ilustra a média horária mensal de umidade relativa (UR, %) do ambiente externo. No mesmo período que observaram-se menores médias de temperatura, entre 22h e 7h da manhã, verificou-se médias de UR acima de 80%. No período da tarde, considerado crítico termicamente, as médias de UR estiveram, principalmente, dentro da faixa de 50-70%. Mas, novamente, o mês de outubro foi uma exceção, apresentando valores abaixo de 50%.

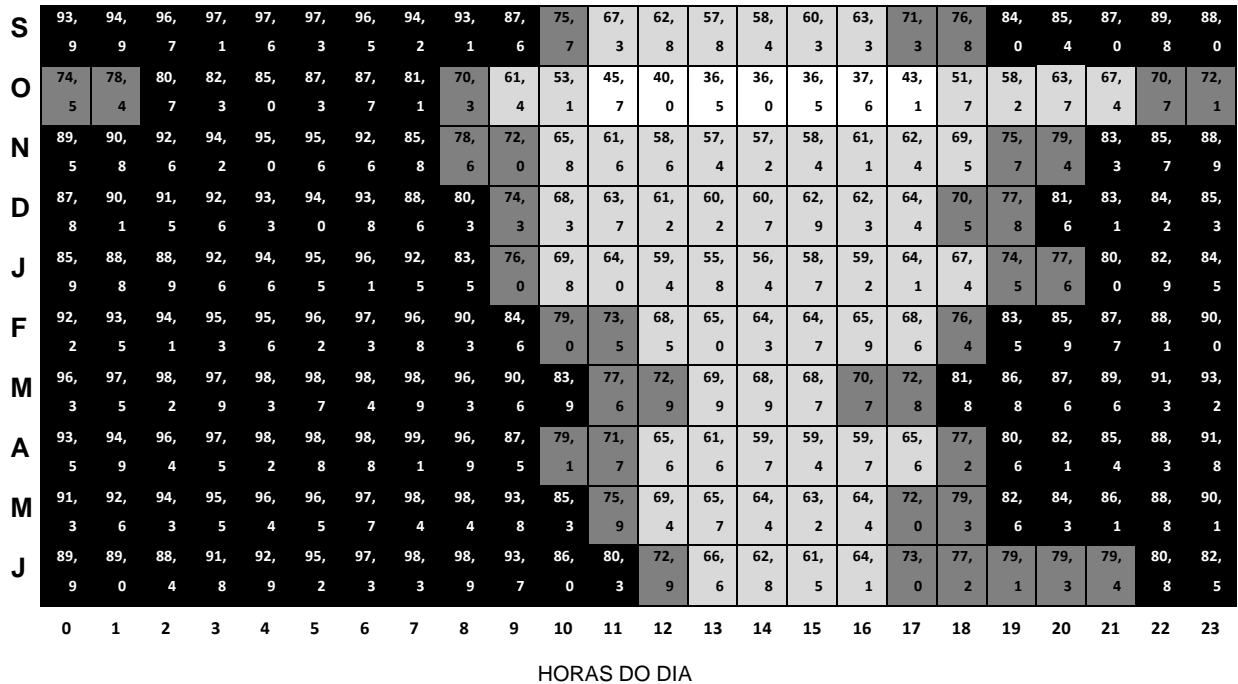


Figura 11. Média horária mensal da umidade relativa do ar no ambiente externo. Branco, umidade relativa menor que 50%; cinza claro, umidade relativa entre 50 e 69,9%; cinza escuro, umidade relativa entre 70 e 79,9%; preto, temperatura umidade relativa maior ou igual a 80%.

Figura 12 ilustra a média horária mensal do índice de temperatura e umidade (THI). O padrão encontrado para esse índice de conforto foi semelhante ao padrão apresentado pela temperatura do ar, caracterizando como período de termoneutralidade o intervalo entre 22 e 7 horas, e o período crítico com variação entre 8 e 21 horas, com exceção dos meses de maio e junho.

Figura 13 ilustrou o padrão do índice entalpia específica do ar (h). Verificou-se que os meses que compreendem a estação verão registraram valores de h acima de 64,7 kJ/kg de ar seco. O período entre 23h e 6 h, para todos os meses avaliados, estiveram dentro da faixa termoneutra de 40,5 e 64,7 kJ/kg de ar seco. O período térmico crítico, com exceção de janeiro e março, se estendeu das 9h às 18h. Em janeiro, o período se estendeu das 7h às 22h, e em março das 11h às 18h.

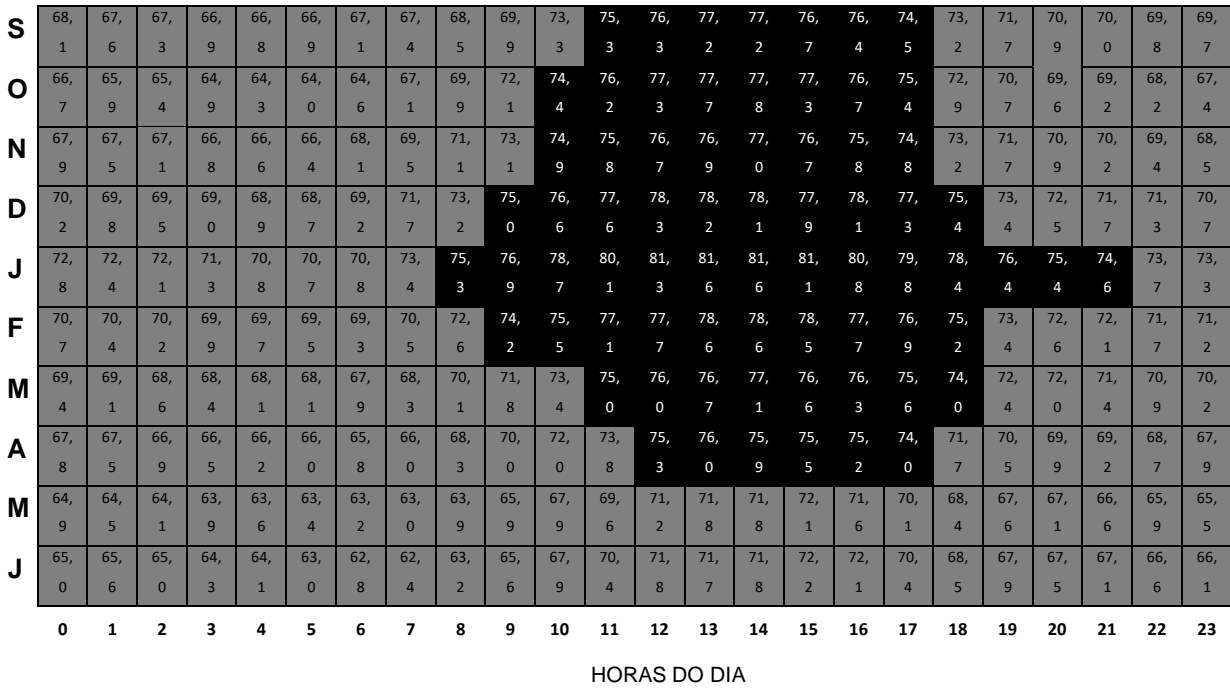


Figura 12. Padrão horário e mensal do índice de temperatura e umidade (THI) no ambiente externo. Cinza, THI entre 64 e 73,9 (zona de termoneutralidade); preto, THI maior ou igual a 74 (estresse térmico).

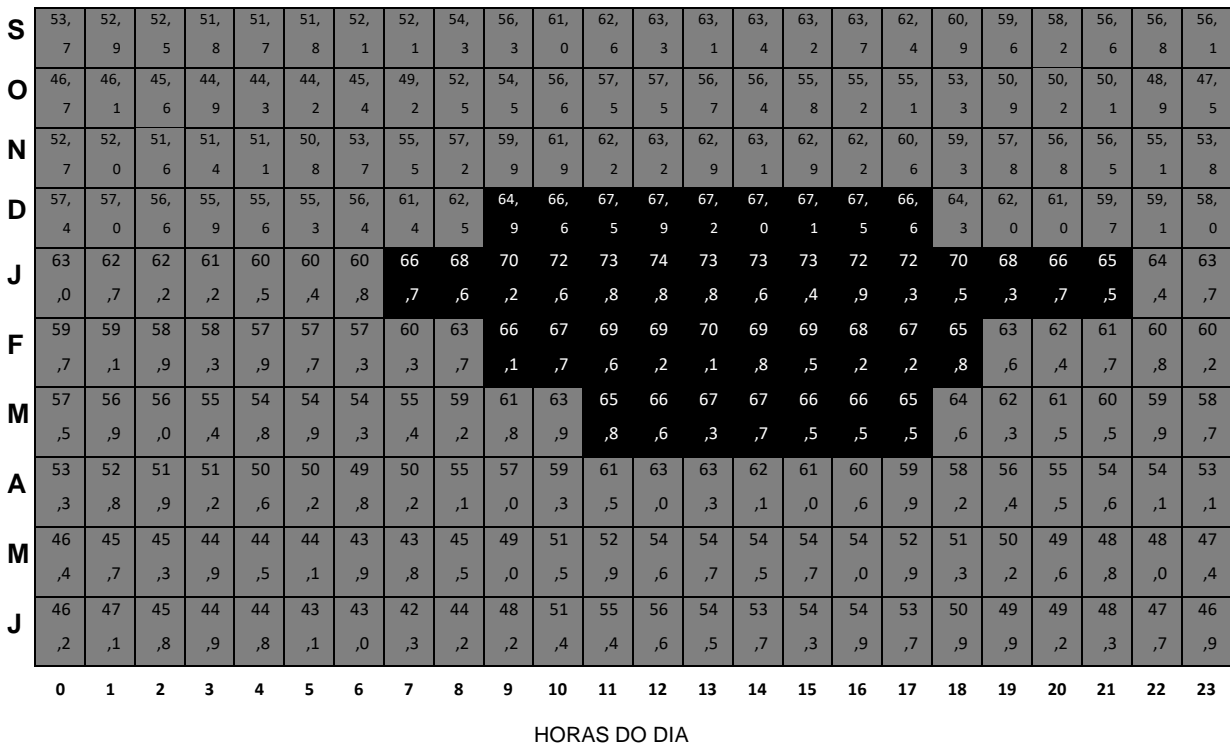


Figura 13. Padrão horário e mensal do índice de entalpia específica do ar (h) no ambiente externo. Cinza, entalpia específica do ar entre 40,5 e 64,7 KJ/Kg de ar seco (zona de termoneutralidade); e preto, entalpia específica do ar acima ou igual a 64,7 KJ/Kg de ar seco (estresse térmico).

O mês de janeiro foi o mais crítico referente ao conforto térmico de vacas leiteiras, pois além de registrar as maiores médias de Tbs, h e THI, também, apresentou maior intervalo de tempo, das 8 às 21h, em condições de desconforto térmico. Enquanto que os meses de maio e junho apresentaram as condições climáticas mais favoráveis, ao longo de todo o período diário, para criação de vacas leiteiras.

Por meio das análises descritivas das variáveis físicas do ar e índices de conforto térmico do ambiente externo, verificou-se que as condições climáticas no período da tarde, principalmente nos meses de verão, foram desconfortáveis termicamente para a criação de bovinos leiteiros.

2.3.2. Comparação das variáveis climáticas entre o ambiente externo e os galpões de confinamento

O presente estudo buscou avaliar se as condições microclimáticas dos ambientes internos dos galpões de confinamento estavam dentro das faixas de conforto térmico para vacas em lactação. Desse modo, numa primeira análise, compararam-se os valores médios dos ambientes, em diferentes estações e turno diários; na segunda etapa, a fim de verificar se os galpões foram eficientes em controlar o conforto térmico durante todo o período experimental, verificaram-se os valores de máximas e de amplitude; na terceira análise, avaliou a porcentagem de ocorrência das variáveis microclimáticas nas diferentes faixas de conforto térmico estabelecidas neste estudo; e por último, na quarta etapa, a magnitude da redução das condições adversas do ambiente externo, através dos deltas das variáveis entre os ambientes de confinamento e o ambiente externo.

2.3.2.1. Médias dos turnos para cada estação

As médias dos três ambientes em diferentes turnos dentro de cada estação mostraram efeito para Tbs ($p=0,003$) e UR ($p=0,003$), conforme descritas na Tabela 9.

Tabela 9. Valores médios das variáveis microclimáticas (Tbs e UR) registrados no ambiente externo (EXT) e nos galpões freestall (FVA e LPCV), dentro de quatro turnos diários, em cada estação do ano.

	Tbs (°C)				UR (%)			
	0-5h	6-11h	12-17h	18-23h	0-5h	6-11h	12-17h	18-23h
PRIMAVERA								
EXT	19,1 A	23,7 A	29,1 A	22,8 A	88 B	73 B	52 B	74 B
FVA	19,5 A	23,1 B	28,7 A	23,0 A	84 C	73 B	52 B	71 C
LPCV	19,1 A	20,7 C	22,9 B	20,8 B	92 A	91 A	85 A	90 A
VERÃO								
EXT	21,6 A	24,8 A	29,9 A	24,5 A	93A	84 B	63 B	82 B
FVA	22,0 A	24,4 A	29,5 A	24,8 A	88 B	82 B	61 B	77 C
LPCV	21,7 A	22,8 B	24,8 B	23,1 B	94 A	93 A	88 A	92 A
OUTONO								
EXT	18,0 B	19,6 A	25,4 A	20,6 A	95 A	90 B	65 B	84 B
FVA	18,4 B	19,4 A	25,0 A	20,9 A	91 B	91 B	66 B	81 B
LPCV	19,0 A	19,4 A	21,7 B	19,9 B	93 B	93 A	89 A	92 A

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$), dentro de cada estação.

Referente à Tbs, das 6 às 23h, o freestall LPCV apresentou menores médias que EXT e FVA.

A temperatura registrada no FVA, na maioria das situações avaliadas, não diferiu significativamente da temperatura do EXT, que só apresentaram diferença no turno da manhã (6-11h) na primavera. Endres et al. (2011), em estudo realizado em Minnesota/USA, também encontraram altas correlações (0,81-0,97) entre temperatura externa e temperatura do galpão freestall convencional.

O ambiente EXT e o galpão FVA foram desconfortáveis termicamente, durante o turno da tarde (12-17h), com valores acima da temperatura superior crítica de 25°C (CORTEZ e MAGALHÃES, 1992; BUCKLIN e BRAY, 1998; WEST, 2003). No entanto, as médias de UR, no mesmo turno, estiveram dentro da faixa recomendada para vacas leiteiras, de 50 a 70% (CORTEZ E MAGALHÃES, 1992).

Referente à UR, o LPCV apresentou maiores médias que EXT e FVA. A alta concentração de UR no galpão LPCV é justificada pela ação do sistema de resfriamento evaporativo, que tem como mecanismo reduzir a temperatura do ar adicionando vapor d'água ao ambiente (SMITH et al. 2008). Não houve diferenças significativas entre as médias de UR encontradas para EXT e FVA, durante o período de 6 a 17 horas.

Shiao et al. (2011), em estudo realizado em Taiwan, compararam uma instalação FVA com um freestall de ventilação tipo túnel com painéis evaporativos (FTP), e encontraram o mesmo comportamento para a variável UR: no turno da

manhã e noite, a UR do FVA se manteve próxima de 100%, decrescendo para 70% no turno da tarde; enquanto que o FTP, manteve a UR próxima de 100% durante todo o período experimental. A elevada e constante taxa de umidade relativa também foi verificada por Smith et al. (2016) em freestall LPCV que utilizavam painéis evaporativos, em Minnesota/EUA.

As médias de LPCV e FVA, além de diferirem estatisticamente, demonstraram condições microclimáticas diferentes, como pode ser observado no turno da tarde da estação primavera (22,9°C e 85% vs. 28,7°C e 52%, respectivamente), da estação verão (24,8°C e 88% vs. 29,5°C e 61%, respectivamente) e da estação outono (21,7°C e 89% vs. 25°C e 66%, respectivamente). Desse modo, verificou-se que o LPCV foi mais eficiente em reduzir a temperatura de bulbo seco; porém, a umidade do ar esteve acima da faixa recomendada.

As médias dos três ambientes em diferentes turnos dentro de cada estação não mostraram interação significativa para THI ($p=0,052$) e h ($p=0,710$). Observou-se o efeito de ambiente dentro de cada nível de turno ($p<0,0001$) para os dois índices, conforme descrito na Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios dos índices de conforto térmico (THI e h) registrados no ambiente externo (EXT) e nos galpões freestall (FVA e LPCV), em quatro turnos diários.

Ambiente	THI				h (kJ.Kg de ar seco ⁻¹)			
	0-5h	6-11h	12-17h	18-23h	0-5h	6-11h	12-17h	18-23h
EXT	67,7 B	71,2 A	76,5 A	70,9 A	52,8 B	58,2 A	63,4 A	57,3 B
FVA	67,9 B	70,6 B	75,9 B	71,0 A	52,4 B	56,8 C	62,0 C	56,4 C
LPCV	68,2 A	69,6 C	72,3 C	69,9 B	54,3 A	57,6 B	62,7 B	58,0 A

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P<0,05$).

As médias de THI do freestall LPCV foram menores que do EXT e FVA, com exceção do turno da madrugada (0-5h), conforme Tabela 10. Contudo, os menores valores médios de entalpia específica do ar foram encontrados no interior do galpão FVA.

Observa-se que os valores médios de THI no LPCV se afastam mais dos valores registrados no EXT e FVA, à medida que a condição externa se torna mais severa termicamente. No período da madrugada, as médias dos índices foram maiores na instalação LPCV do que no ambiente externo.

Em relação ao THI, no turno mais crítico (12-17h), o LPCV obteve menores médias que EXT e FVA (72,3 vs. 76,5 e 75,9, respectivamente). O LPCV foi o único ambiente avaliado que conseguiu manter o THI abaixo do limiar de 74,2 ao longo do dia, conforme determinado por este estudo e recomendado por Johnson et al. (1962), Rosenberg et al. (1983), Campos et al. (2002) e Azevedo et al. (2005).

O uso de aspersão associada a ventiladores em freestall atenua o estresse térmico (TURNER et al., 1992, FRAZZI et al. 2002; KARIMI et al., 2015), mas não altera a temperatura e umidade do ar, e conseqüentemente, o índice THI. Como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 10, que apontam diferença entre o EXT e FVA, entre 6 e 17h, mas na ordem de 0,6 unidades, enquanto que no LPCV verifica-se uma diferença com relação ao EXT de 4,3 unidades.

Em relação à entalpia específica do ar, o LPCV obteve médias menores que EXT, no período entre 6 e 17h, mas médias maiores que FVA, em todos os turnos.

Segundo Baeta e Souza (1997), o resfriamento evaporativo adiabático ocorre quando o ar a ser resfriado entra em contato com água com a mesma temperatura de bulbo úmido. O calor sensível do ar evapora a água, sendo convertido em calor latente no vapor adicionado, e como resultado tem-se a redução da temperatura de bulbo seco e aumento da umidade. Nenhum calor é adicionado durante o processo, ou seja, nenhum calor entra ou sai do sistema. Mas de acordo com Watt e Brown (1997), o processo real diferencia-se do ideal adiabático, uma vez que a água de resfriamento introduz uma parcela de calor sensível ao sistema. Assim, o processo deixa de ser adiabático, e o ar não é resfriado a uma entalpia e temperatura de bulbo úmido constantes.

Nesse caso, supõe-se que o aumento de calor dentro da instalação LPCV é procedente da radiação solar que incide sobre os painéis evaporativos somado a produção de calor de 320 vacas em lactação confinadas.

A análise do THI mostra que o LPCV apresentou melhor desempenho, mantendo as médias dos turnos diários dentro da faixa de termoneutralidade. No entanto, quando analisado a entalpia específica do ar, o ambiente externo não se mostrou desconfortável termicamente, sendo que as médias estavam dentro da faixa de termoneutralidade. O FVA apresentou as menores médias de h.

As variáveis de temperatura de globo negro (Tgn), velocidade do vento (Vv) e Carga Térmica Radiante (CTR) estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios da temperatura de globo negro (Tgn), velocidade do vento (Vv) e da Carga Térmica Radiante (CTR), registradas em 34 dias não consecutivos durante verão e outono, no turno da manhã e tarde.

Ambiente	Tgn (°C)		Vv (m.s ⁻¹)		CTR (W.m ⁻²)	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
EXT	32,2 A a	33,9 A a	1,1 B a	1,0 B a	563,3 A a	562,6 A a
FVA	23,0 B b	26,9 B a	0,4 C b	1,9 A a	437,5 B b	466,2 B a
LPCV	21,7 C b	23,2 C a	1,83 A a	2,1 A a	431,2 B b	444,8 C a

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Este estudo considerou a faixa de velocidade do vento de 2 a 4 m/s como ideal para criação de bovinos de leite, de acordo com Hahn (1982), Chastain e Turner (1994) e Gooch e Timmons (2000). Observa-se na Tabela 11, que a média de Vv esteve abaixo de 2 m/s em todas as avaliações, com exceção do turno da tarde no freestall LPCV.

A variável temperatura de globo negro (Tgn) (Tabela 11) apresentou diferença estatística entre os ambientes, tanto no turno da manhã quanto no turno da tarde. As médias do EXT foram 32,2 e 33,9°C, no turno da manhã e tarde, respectivamente. Zoa-Mboe et al. (1989) compararam vacas sem e com acesso a sombra, e verificaram que as vacas expostas à radiação solar direta, com Tgn média de 37°C, reduziram em 9,2% a produção de leite. De acordo com o estudo de Marcheto et al. 2002, os autores verificaram que o aumento da Tgn influenciou na produção de vacas leiteiras da mesma maneira que a temperatura de bulbo seco. As instalações FVA e LPCV reduziram a temperatura de globo negro, respectivamente, em 9,2 e 10,4°C, no turno da manhã. Observou-se que no turno da tarde, o FVA não foi capaz de manter essa diferença em relação ao ambiente externo, alcançando uma diferença de 7°C. Em contrapartida, no turno da tarde, o LPCV aumentou a diferença com o ambiente externo, com redução de 10,7°C.

As médias de carga térmica radiante (CTR) registradas no ambiente externo foram próximas aquelas encontradas por Navarini et al. (2009) (571 W.s², no estado do Paraná), e por Silva e Passini (2017) (549 W.s⁻², no estado de Goiás).

Houve diferença entre as instalações para CTR, no período da tarde. NO entanto, o freestall de laterais abertas (FVA) reduziu, em média, 19,7% a CTR no

interior da instalação, e o freestall fechado (LPCV) apresentou uma redução de 22,1% (Tabela 11). Navarini et al. (2009) encontraram redução de 11% da carga térmica radiante sob pequenos bosques, e 5% em árvores isoladas. Silva e Passini (2017) verificaram reduções de 20% de CTR, porcentagem semelhante encontrada nesse estudo, sob estruturas de sombrite 80% com uso de aspersão e ventilação.

2.3.2.2. Mínimas, máximas, amplitude e dispersão dos dados

De acordo com a Tabela 12, observa-se que a T_{bs} , UR e h atingiram valores máximos que ultrapassaram as faixas de conforto térmico em todos os ambientes avaliados.

Referente à variável temperatura de bulbo seco, o LPCV apresentou as menores máximas médias em comparação com o EXT e FVA ($P < 0,05$), na estação primavera (23,7 vs. 30,9 e 30,1°C, respectivamente), no verão (25,6 vs. 31,8 e 31,1°C, respectivamente) e no outono (22,3 vs. 26,7 e 26°C, respectivamente).

Além do mais, o freestall LPCV apresentou melhor controle do ambiente interno que FVA, como verificado pelas máximas de amplitude diária na estação primavera (9,5 vs. 19,9 e 18°C, respectivamente), no verão (9,7 vs. 15,9 e 14,6°C, respectivamente) e no outono (10,4 vs. 14,6 e 13,3°C, respectivamente).

Em relação à umidade relativa do ar (Tabela 12), o LPCV apresentou as maiores mínimas média que EXT e FVA ($P < 0,05$), na estação primavera (82 vs. 45,2 e 45,8%, respectivamente), verão (85 vs. 54,6 e 54%, respectivamente) e outono (86,5 vs. 58,8 e 60,3, respectivamente). Porém, o LPCV apresentou um maior controle do ambiente interno que EXT e FVA, como verificado por meio das máximas amplitudes diárias, na estação primavera (41,1 vs. 81,5 e 44,9%, respectivamente), verão (41,1 vs. 74,8 e 81,5%, respectivamente) e outono (9,1 vs. 40,7 e 36,7%, respectivamente).

Para a entalpia específica do ar (Tabela 12), os valores médios das máximas divergiram entre as estações. Na primavera, a menor média foi registrada no FVA (62,6 kJ.kg de ar seco⁻¹), seguido de LPCV (63,3 kJ.kg de ar seco⁻¹) e EXT (64,9 kJ.kg de ar seco⁻¹) ($p < 0,05$). Na estação verão, as médias de FVA e LPCV (71,5 kJ.kg de ar seco⁻¹) não diferiram significativamente ($p < 0,05$), mas foram menores que EXT (75,6 kJ.kg de ar seco⁻¹). Na estação outono, as menores médias foram

registradas no FVA (59,9 kJ.kg de ar seco⁻¹), seguidas de LPCV e EXT (60,7 e 61,3 kJ.kg de ar seco⁻¹, respectivamente) que não diferiram entre si ($p < 0,05$).

Tabela 12. Valores de mínima, máxima e amplitude diária de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e entalpia específica do ar registrados em 240 dias, nas estações primavera, verão e outono.

	Faixa de valores registrados		Faixa de médias		Faixa de amplitude diária	
	Min	Max	Min_média	Max_média	Mínima	Máxima
Temperatura de bulbo seco (°C)						
PRIMAVERA						
EXT	9,7	36,6	17,9 B	30,9 A	4,1	19,9
FVA	10,5	38,1	18,3 A	30,1 B	3,6	18,0
LPCV	11,7	30,2	18,2 A	23,7 C	1,3	9,5
VERÃO						
EXT	17,5	39,5	20,5 B	31,8 A	4,6	15,9
FVA	17,9	38,6	20,8 A	31,1 B	4,6	14,6
LPCV	18,7	29,9	20,9 A	25,6 C	2,7	9,7
OUTONO						
EXT	11,9	32,3	16,7 C	26,7 A	3,9	14,6
FVA	12,5	31,0	17,1 B	26,0 B	3,3	13,3
LPCV	14,1	28,1	17,9 A	22,3 C	1,5	10,4
Umidade relativa do ar (%)						
PRIMAVERA						
EXT	15,0	100	45,2 B	94,6 A	13,2	81,5
FVA	15,0	99,7	45,8 B	90,5 B	12,5	74,8
LPCV	52,3	99,1	82,0 A	95,4 A	2,7	41,1
VERÃO						
EXT	28,8	100	54,6 B	98,0 A	1,5	70,0
FVA	28,9	99,8	54,0 B	94,0 C	8,3	62,7
LPCV	63,6	98,8	85,1 A	96,5 B	3,6	33,2
OUTONO						
EXT	35,1	100	58,8 C	99,3 A	3,6	64,8
FVA	37,8	100	60,3 B	97,1 B	8,6	57,2
LPCV	54,6	98,8	86,5 A	95,7 C	2,7	38,9
Entalpia específica do ar (kJ.kg de ar seco ⁻¹)						
PRIMAVERA						
EXT	26,9	90,8	47,2 B	64,9 A	5,8	34,4
FVA	27,4	73,3	47,0 C	62,6 C	4,4	28,6
LPCV	30,8	73,8	49,1 A	63,3 B	4,0	25,5
VERÃO						
EXT	48,9	91,9	56,9 C	75,6 A	8,8	36,9
FVA	48,8	79,1	56,3 B	71,5 B	9,2	25,1
LPCV	50,9	82,1	57,8 A	71,5 B	7,6	23,6
OUTONO						
EXT	32,3	78,0	45,9 B	61,3 A	6,2	24,8
FVA	32,7	75,0	46,0 B	59,9 B	6,0	22,1
LPCV	35,5	75,8	48,3 A	60,7 A	4,8	20,5

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$). Min e Max são referentes ao menor e maior valor registrado durante o período avaliado. Min e Max média são referentes às médias dos menores e maiores valores registrados em cada dia, durante o período avaliado.

As amplitudes de h registradas no LPCV foram menores, como observado para as outras variáveis; porém, os valores dos três ambientes foram próximos.

Na tabela 9 e 10, verificou-se que o sistema de climatização LPCV apresentou médias de T_{bs} , THI e h adequadas para a criação de vacas holandesas em lactação. Porém, conforme indicado pelos valores de máximas (Tabela 12), este sistema não foi eficiente para manter as variáveis microclimáticas dentro das faixas de conforto térmico, durante todo o período de confinamento avaliado.

Os resultados da Tabela 12, também, apontaram que o LPCV promoveu maior controle do microclima interno, com amplitudes de temperatura do ar e umidade relativa menores daquelas registradas nos demais ambientes, corroborando com Smith et al. (2008); Harner e Smith (2008). O galpão FVA sofreu maior influência do ambiente externo, o que era esperado por se tratar de um galpão naturalmente ventilado (ENDRES et al., 2011).

Os valores de entalpia da tabela 12 apontaram uma avaliação semelhante ao que foi apresentado pelos valores médios, em que o FVA apresentou menores médias. Não foi encontrado estudos que utilizaram a entalpia específica do ar para avaliar instalações freestall LPCV.

Para melhor visualização dessas condições térmicas, apresentou-se a dispersão dos índices de conforto térmico, por hora, entre os meses de setembro de 2014 e junho de 2015 (Figura 14).

A comparação entre os ambientes na Figura 14 mostra, claramente, que a amplitude e os valores máximos do freestall LPCV foram menores que do EXT e FVA.

Na Figura 14, observa-se que no turno da madrugada e da noite, quando os sistemas de climatização estão desligados ou funcionando em baixo potencial, o conforto térmico foi melhor no ambiente EXT e FVA que no LPCV, pois apresentaram maior incidência de THI e h dentro da zona ótima. No entanto, no turno da manhã e tarde, o EXT e FVA apresentaram maior incidência de THI dentro da zona crítica comparado ao LPCV e FVA. Essa análise pode indicar o motivo das médias de h serem menores no FVA que no freestall LPCV, uma vez que durante o turno da madrugada e da noite, o FVA apresentou maior ocorrência de valores na zona ótima e menores ocorrências na zona crítica comparado ao LPCV.

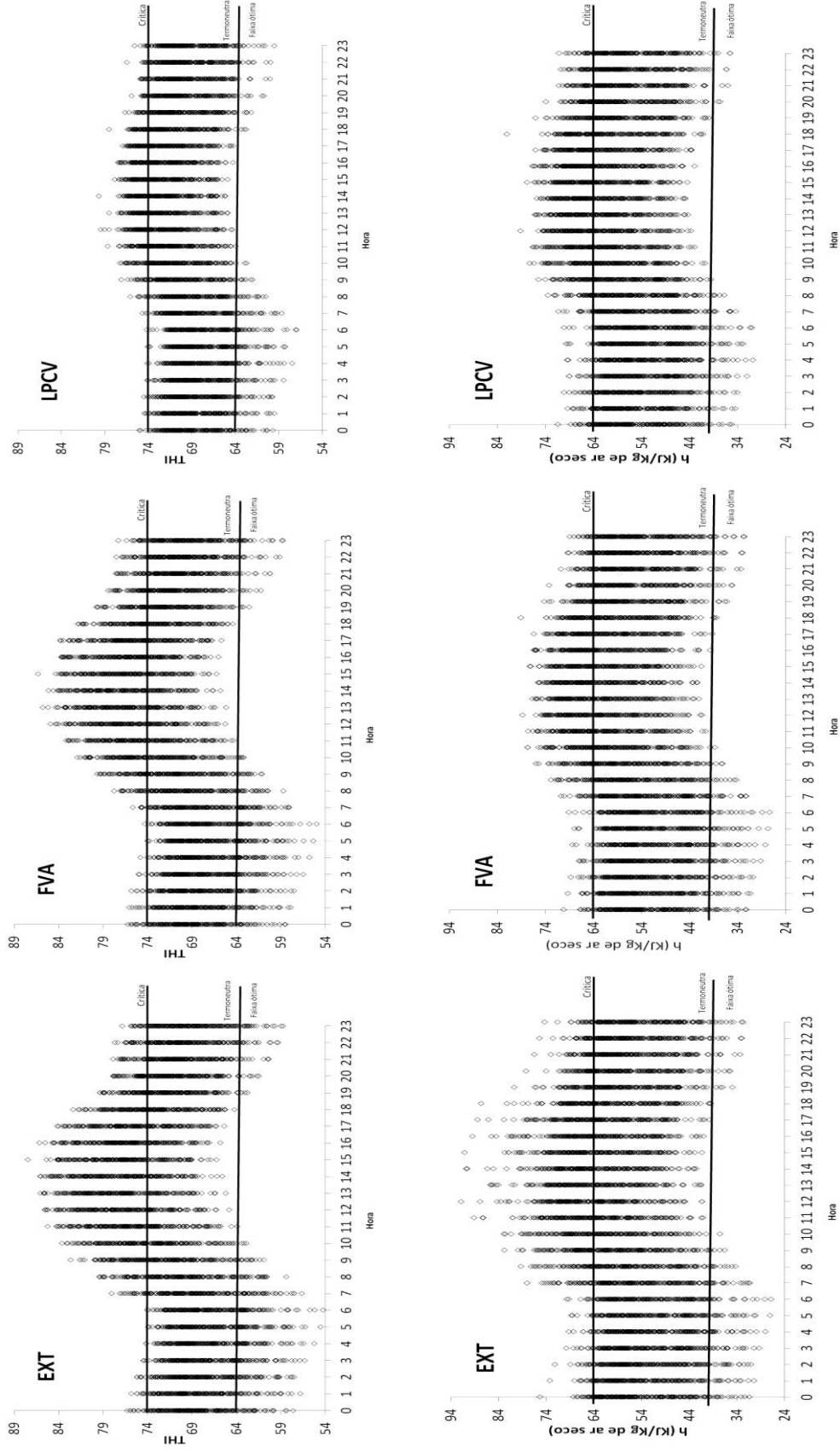


Figura 14. Dispersão de THI e entalpia específica do ar (h) por hora, no ambiente externo (EXT), no ambiente externo (EXT), e nos galpões freestall convencional (FVA) e com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (LPCV), em 240 dias.

2.3.2.3. Porcentagem de ocorrências

O microclima do galpão LPCV foi caracterizado por temperaturas que variaram entre 18 e 25°C e umidade relativa do ar acima de 80%, compreendendo 79,2% das ocorrências, conforme tabela 13.

Tabela 13. Porcentagem de ocorrência para as combinações de quatro faixas de temperatura e umidade relativa do ar por localização (EXT, FVA, LPCV).

	% de ocorrências					
	EXT	FVA	LPCV	EXT	FVA	LPCV
	12 ≤ Tbs < 18°C			18 ≤ Tbs < 25°C		
UR < 50%	0	0	0	0,7	0,8	0
50 ≤ UR < 70%	0,3	0,3	0	5	6	0,1
70 ≤ UR < 80%	0,7	1,1	0,2	6,9	9,6	1,6
UR ≥ 80%	11,2	10	10,8	41,3	40,5	79,2
Total	12,2	11,4	11	53,9	56,8	80,9
	25 ≤ Tbs < 30°C			Tbs ≥ 30°C		
UR < 50%	2,9	3,3	0	6,9	5,3	0
50 ≤ UR < 70%	10,7	11,8	0,1	4	2,9	0,01
70 ≤ UR < 80%	6,1	6,8	0,5	0,2	0	0
UR ≥ 80%	3,2	1,6	7,5	0	0	0
Total	22,9	23,5	8,1	11,1	8,2	0,01

As ocorrências de temperatura, dentro da zona ótima de conforto (12<Tbs<18°C), foram próximas para os três ambientes. Contudo, o freestall LPCV apresentou as menores ocorrências de temperaturas entre 25 e 30°C comparado ao ambiente EXT e FVA (8,1 vs. 22,9 e 23,5%, respectivamente). As ocorrências de Tbs acima de 30°C foram de 0,01% enquanto o EXT e FVA apresentaram 11 e 8,2% de ocorrências, respectivamente. O FVA apresentou valores de Tbs e UR próximos àqueles encontrados para o ambiente externo.

O LPCV reduziu em 26%, aproximadamente, o tempo de exposição dos animais a Tbs acima de 25°C comparado ao ambiente externo. O FVA conseguiu uma redução de 2,3%. Contudo, o LPCV aumentou em 42% o tempo de exposição dos animais a umidade relativa do ar acima de 80%.

Shiao et al. (2011), comparando freestall de ventilação tipo túnel com painéis evaporativos (FTP) com um FVA, verificaram que o FTP evitou que a Tbs excedesse 30°C e manteve as vacas alojadas em Tbs < 26°C em 16,2h por dia, enquanto que as vacas alojadas em um galpão FVA permaneceram 4,5h por dia sob Tbs > 30°C, e

12h por dia sob $T_{bs} < 26^{\circ}\text{C}$. No presente estudo, o LPCV apresentou uma porcentagem de 0,01% de temperatura acima de 30°C , enquanto que o FVA apresentou 8,2%, que representa média de 1,9 h por dia. Em relação à porcentagem de $T_{bs} < 25^{\circ}\text{C}$, adotada como limiar para o conforto, verificou-se que o LPCV promoveu, em média, 22h por dia (referente aos 91,9%); e o FVA, 16,3h por dia.

Smith et al. (2008) apresentaram o impacto negativo da umidade relativa no potencial de resfriamento de um sistema de resfriamento evaporativo. De acordo com a Tabela 13, verificou-se no ambiente externo uma ocorrência de 55% para umidade relativa do ar acima de 80%.

O freestall LPCV, comparado com o ambiente externo (Tabela 14), apresentou menor ocorrência de THI e h dentro da zona ótima; contudo, esta instalação também reduziu as ocorrências dos índices dentro da zona térmica crítica.

Tabela 14. Porcentagem de ocorrência para diferentes faixas do Índice de Temperatura e Umidade (THI) e entalpia específica do ar (h) para cada ambiente (EXT, FVA e LPCV) em 240 dias, compreendendo as estações primavera, verão e outono.

ESTAÇÃO	ZONA TÉRMICA	FAIXAS	% de ocorrência		
			EXT	FVA	LPCV
THI	TERMONEUTRA	$\text{THI} < 54$	0	0	0
	ÓTIMA	$54 \leq \text{THI} < 64$	8,1	7,7	4,7
	TERMONEUTRA	$64 \leq \text{THI} < 74$	61,6	64,3	83,7
	CRÍTICA	$\text{THI} \geq 74$	30,3	28	11,6
h	TERMONEUTRA	$h < 22,9$	0	0	0
	ÓTIMA	$22,9 \leq h < 40,5$	3,9	3,9	1,9
	TERMONEUTRA	$40,5 \leq h < 64,7$	71,5	76,7	75,8
	CRÍTICA	$h \geq 64,7$	24,6	19,5	22,4

De acordo com a Tabela 14, o galpão LPCV registrou a menor incidência do Índice de Temperatura e Umidade dentro da zona térmica crítica, de acordo com os resultados apresentados por Huhnke et al. (2001).

O LPCV registrou 11,6%, seguido do FVA e EXT que registraram 28 e 30,3%, respectivamente. Desse modo, verificou-se melhor desempenho do galpão LPCV com redução de 18,7%, enquanto o FVA reduziu 2,3%.

No entanto, as ocorrências de entalpia específica do ar, descritas na Tabela 14, demonstram melhores resultados para o FVA. O FVA apresentou um percentual de 2,8% menor que o LPCV de situações consideradas críticas.

Esses resultados, assim como os resultados de máximas descritos na Tabela 12, demonstraram que apesar das médias apresentadas pelo LPCV estarem

dentro dos limites de conforto, existiu momentos de desconforto térmico para vacas em lactação. Contudo, considerando a temperatura de bulbo seco e o THI, este sistema reduziu as ocorrências de situações estressantes as quais os animais se deparariam no ambiente externo e freestall convencional.

Não houve grandes diferenças entre os ambientes quando analisado o índice de entalpia específica do ar.

2.3.2.4. Faixas externas de temperatura e umidade relativa do ar

Com intuito de entender os mecanismos que levam o ambiente interno de LPCV apresentar a menor ocorrência dos registros de THI e h dentro da zona térmica ótima (Tabela 14), e o porquê do freestall LPCV, que supostamente é um ambiente termicamente controlado, apresentar valores de Tbs, THI e h acima dos limiares de conforto térmico estipulados para vacas holandesas em lactação, buscou-se comparar as variáveis climáticas internas de acordo com diferentes faixas de temperatura e umidade relativa do ambiente externo.

Exemplificando a Tabela 15, quando a temperatura e a umidade externa eram menores que 25°C e 50%, a temperatura no interior FVA não apresentou diferença (FVA-EXT=0), enquanto que no LPCV verificou-se uma redução de 5,3°C (LPCV-EXT=-5,3).

Em condições de temperaturas externas maiores de 25°C, o FVA não promoveu um ambiente termicamente confortável para a criação de vaca holandesa em lactação. A maior redução que o galpão FVA alcançou foi de 1,1°C.

No caso do sistema de climatização do LPCV, a temperatura de bulbo seco começou a exceder 25°C, a partir de temperatura externa de 30°C e umidade relativa de 50% (Tabela 15). Contudo, verificou-se que o galpão LPCV reduziu a temperatura interna em até 11,6°C, promovendo melhores condições térmicas que no ambiente EXT e interior do galpão FVA.

Smith et al. (2016), no norte americano, compararam dois galpões de ventilação cruzada (um com sistema de resfriamento evaporativo por meio de placas evaporativas e aspersores sobre os animais, e outro com nebulizadores de alta pressão). Os autores encontraram que mesmo sob leve condição ambiental de estresse térmico (média de T_{max}=25°C e UR_{max}=78,4%), os galpões registraram

diferenças entre as temperaturas internas (19,6 e 21,5°C, respectivamente), e as vacas confinadas apresentaram menores médias e variação da temperatura corporal.

Tabela 15. Médias de temperatura de bulbo seco por ambiente (EXT, FVA, LPCV), de acordo com diferentes combinações de faixas de temperatura (Text) e de umidade relativa (URext) do ambiente externo, e os deltas de temperatura (ΔT_{bs}).

Combinações de faixas variáveis externas	EXT (°C)	FVA (°C)	LPCV (°C)	ΔT_{bs}		
				(FVA-EXT)	(LPCV-EXT)	(LPCV-FVA)
Text < 25°C						
URext < 50%	23,4	23,4	18,1	0	-5,3	-5,3
50 ≤ URext < 70%	22,3	22,2	19,2	-0,1	-3,1	-3,0
70 ≤ URext < 80%	21,8	21,7	20,7	-0,1	-1,1	-1,0
URext ≥ 80%	20,2	20,4	20,4	+0,2	+0,2	0
25 ≤ Text < 30°C						
URext < 50%	27,8	27,4	21,1	-0,4	-6,7	-6,3
50 ≤ URext < 70%	27,7	27,2	23,3	-0,5	-4,4	-3,9
70 ≤ URext < 80%	26,7	26,2	23,8	-0,5	-2,9	-2,4
URext ≥ 80%	26,2	25,9	24,4	-0,3	-1,8	-1,5
30 ≤ Text < 35°C						
URext < 50%	32,5	31,9	24,3	-0,6	-8,2	-7,6
50 ≤ URext < 70%	31,5	30,7	25,6	-0,8	-5,9	-5,1
70 ≤ URext < 80%	31,3	30,5	26,4	-0,8	-4,9	-4,1
URext ≥ 80%	30,7	29,6	25,7	-1,1	-5,0	-3,9
Text ≥ 35°C						
URext < 50%	36,3	35,4	25,3	-0,9	-11,0	-10,1
50 ≤ URext < 70%	35,3	34,3	27,1	-1	-8,2	-7,2
70 ≤ URext < 80%	-	-	-	-	-	-
URext ≥ 80%	-	-	-	-	-	-

Quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar do ambiente EXT, maior a redução da temperatura de bulbo seco do galpão LPCV. O mesmo ocorreu para o índice THI, quanto menor a UR externa maior é a eficiência do sistema de climatização em reduzir os valores de THI (Tabela 16).

A Tabela 16, para valores de THI, reitera as observações anteriores que o galpão FVA não foi capaz de dissociar o microclima interno frente às condições climáticas externas, o que promoveu um ambiente termicamente desconfortável para a criação de vaca em lactação (THI ≥ 74); e que o galpão LPCV apresentou maior eficiência, mantendo as médias abaixo de 74 até condições externas de 30°C e 50% e maiores entre o ambiente interno e externo.

Tabela 16. Médias de THI por ambiente (EXT, FVA e LPCV), de acordo com diferentes combinações de faixas de temperatura (Text) e de umidade relativa (URext) do ambiente externo, e os deltas de THI (Δ THI).

Combinacões de faixas variáveis externas	EXT	FVA	LPCV	Δ THI		
				(FVA-EXT)	(LPCV-EXT)	(LPCV-FVA)
Text < 25°C						
URext < 50%	68,6	68,7	65,2	+0,1	-3,4	-3,5
50 ≤ URext < 70%	69,1	69,0	66,9	-0,1	-2,2	-2,1
70 ≤ URext < 80%	69,5	69,3	68,2	-0,2	-1,3	-1,1
URext ≥ 80%	68,5	68,6	68,9	+0,1	-0,4	+0,3
25 ≤ Text < 30°C						
URext < 50%	74,2	73,8	69,1	-0,4	-5,1	-4,7
50 ≤ URext < 70%	76,3	75,7	72,5	-0,6	-3,8	-3,2
70 ≤ URext < 80%	76,0	75,3	73,4	-0,7	-2,6	-1,9
URext ≥ 80%	76,2	75,4	74,1	-0,8	-2,1	-1,3
30 ≤ Text < 35°C						
URext < 50%	80,2	79,5	73,4	-0,7	-6,8	-6,1
50 ≤ URext < 70%	80,9	79,9	75,4	-1,0	-5,5	-4,5
70 ≤ URext < 80%	82,3	80,0	76,5	-2,3	-5,8	-3,5
URext ≥ 80%	82,0	79,4	75,9	-2,6	-6,1	-3,5
Text ≥ 35°C						
URext < 50%	83,3	82,5	74,5	-0,8	-8,8	-8,0
50 ≤ URext < 70%	85,6	83,4	77,4	-2,2	-8,2	-6,0
70 ≤ URext < 80%	-	-	-	-	-	-
URext ≥ 80%	-	-	-	-	-	-

Na tabela 17 estão as diferenças obtidas pelas instalações de confinamento referente ao índice de entalpia específica do ar.

Através das médias apresentadas pelos ambientes, observa-se que em nenhuma situações os galpões foram hábeis em reduzir os valores de entalpia para dentro da faixa de termoneutralidade igual a 64,7 kJ.kg de ar seco⁻¹, ou seja, em todas as situações nas quais verificaram desconforto térmico no ambiente EXT, também foram verificadas no interior das instalações.

Mas, deve-se atentar a um importante fato, em condições externas de menor calor no ambiente, abaixo de 30°C, o FVA foi mais eficiente em termos de redução de h. Mas, em condições externas mais estressantes, temperatura acima de 30°C e umidade relativa do ar acima de 70%, o LPCV foi ligeiramente mais eficiente em termos de redução da quantidade de calor do ar.

Esses resultados demonstraram que a maior eficiência de redução de h por parte do FVA ocorre em condições externas menos estressantes, justamente as situações de maior ocorrência no período avaliado.

Tabela 17. Médias de h ($\text{kJ.Kg de ar seco}^{-1}$) por ambiente (EXT, FVA e LPCV), de acordo com diferentes combinações de faixas de temperatura (Text) e de umidade relativa (URext) do ambiente externo, e os deltas de THI (Δh).

Combinações de faixas variáveis externas	EXT	FVA	LPCV	Δh		
				(FVA-EXT)	(LPCV-EXT)	(LPCV-FVA)
Text < 25°C						
URext < 50%	43,1	43,4	45,5	+0,3	+2,4	+2,1
50 ≤ URext < 70%	48,9	48,3	49,9	-0,6	+1,0	+1,6
70 ≤ URext < 80%	59,9	58,5	59,4	-1,4	-0,5	+0,9
URext ≥ 80%	54,9	54,2	55,8	-0,7	+0,9	+1,6
25 ≤ Text < 30°C						
URext < 50%	52,7	52,1	53,6	-0,6	0,9	+1,5
50 ≤ URext < 70%	63,8	62,6	63,4	-1,2	-0,4	+0,8
70 ≤ URext < 80%	67,8	65,8	66,3	-2,0	-1,5	+0,5
URext ≥ 80%	72,2	67,9	68,4	-4,3	-3,8	+0,5
30 ≤ Text < 35°C						
URext < 50%	64,0	62,9	63,9	-1,1	-0,1	+1,0
50 ≤ URext < 70%	73,0	70,6	70,7	-2,4	-2,3	+0,1
70 ≤ URext < 80%	85,4	73,0	72,9	-12,4	-12,5	-0,1
URext ≥ 80%	88,1	74,0	73,1	-14,1	-15	-0,9
Text ≥ 35°C						
URext < 50%	65,6	64,3	65,5	-1,3	-0,1	+1,2
50 ≤ URext < 70%	84,3	74,2	75,4	-10,1	-8,9	+1,2
70 ≤ URext < 80%	-	-	-	-	-	-
URext ≥ 80%	-	-	-	-	-	-

Stowell et al. (2001) avaliaram o desempenho de instalações freestall com ventilação tipo túnel comparadas com galpões de ventilação natural associada a ventilação forçada, nos meses de verão, nos estados de Ohio e Nova York. Os resultados indicaram que a ventilação em túnel proporciona benefícios mais contundentes durante condições de verão mais extremas, especialmente períodos prolongados com pouco vento, como ocorre frequentemente durante o clima quente e úmido. Os autores afirmam que é durante esses períodos que a ventilação em túnel pode manter altos níveis de troca de ar através de um galpão, enquanto os sistemas naturalmente ventilados não podem.

Esses resultados discordam dos autores que assumem que em situações de umidade elevada a prejuízo da eficiência do SREA.

Desse modo, verificou-se que o sistema de resfriamento evaporativo do galpão LPCV reduziu os valores de temperatura de bulbo seco e THI, o que promoveu um melhor ambiente térmico comparado ao ambiente externo. Mas em condições externas de $T_{bs} > 30^\circ\text{C}$, o sistema, apesar de reduzir, não foi capaz de manter as

condições microclimáticas dentro da faixa de termoneutralidade durante todo o período.

2.4. Conclusões Parciais

As análises de Tbs, THI, Tgn, Vv e CTR mostraram que o LPCV apresentou melhor desempenho, mantendo as médias dos turnos diários dentro da faixa de termoneutralidade. No entanto, quando analisado o índice de entalpia, os três ambientes mostraram as médias dentro da faixa de termoneutralidade, sendo o FVA aquela que apresentou as menores médias.

O LPCV, assim como o FVA, não foi eficiente em manter as variáveis microclimáticas dentro da zona de conforto durante todo o período avaliado, com máximas que ultrapassaram os limiares de conforto, mas pode-se afirmar que este sistema promoveu um maior controle do microclima interno, registrando as menores amplitudes térmicas.

Comparado ao ambiente externo, o LPCV reduziu em 26%, 19% e 2% o tempo de exposição dos animais a Tbs acima de 25°C, THI acima de 74 e h acima de 64 kJ.kg de ar seco⁻¹. Mas, também, reduziu o tempo de exposição das vacas dentro das faixas ótimas de conforto, devido aos valores de UR que se mantiveram acima de 80%, durante todo o período avaliado. O FVA registrou uma redução de 2,3% o tempo de exposição dos animais a Tbs acima de 25°C e THI acima de 74, e de 5% para h acima de 64 kJ.kg de ar seco⁻¹.

O sistema LPCV se mostrou mais eficaz no controle do ambiente interno em condições externas mais estressantes, temperatura acima de 30°C e umidade relativa do ar acima de 70%.

Referências

- AZEVEDO, M. de et al., 2005. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em lactação. R. Bras. Zootec., vol.34, n.6
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. Ambiência em edificações rurais – conforto animal. Viçosa: UFV, 1997. 246.
- BERMAN, A.; FOLMAN, Y; KAIM, M; MAMEN, M; HERZ, Z; WOLFENSON, D; ARIELI, A; GRABER, Y. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high yielding dairy cows in a subtropical climate. Journal of Dairy Science, 68, 1488-1495.
- BROUK, M.J.; SMITH, J.F.; HARNER, J.P. 2001. Efficiency of modified evaporative cooling in Midwest dairy freestall barns. Livestock Environment VI. Pages 412-418 in Proc. of the 6th Int. Symp. May 21-23, Louisville, Kentucky.
- BUCKLIN, R.A; BRAY D.R. 1998. The american experience in dairy management in warm and hot climates. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE. Piracicaba, 1998. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998. p.156 – 174.
- CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. 1992. Introdução à Engenharia Agrícola. Editora da UNICAMP, 393p.
- CHASTAIN, J.P.; TURNER, L.W. Practical results of a model of direct evaporative cooling of dairy cows. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, 3., 1994. Orlando. Proceedings... Orlando: ASAE, 1994. p.337-52.
- ENDRES, M; LOBECK, K; JANNI, K; GODDEN, S; FETROW, J. 2011. Barn Environment Study. Minnesota Dairy Health Conference. St. Paul. Minnesota. May 17-19, 2011.

ESMAY, M.L. 1979. Principles of animal environment. Westport: The AVI Publishing Company, 325 p.

FRAZZI, E.; CALAMARI, L.; CALEGARI, F. 2002. Productive response of dairy cows to different barn cooling systems. Trans. ASAE, 45, 395–405.

GARCIA, A.D.; ENDRES, M.I, DIAZ-ROYON, F. 2014. Cross-ventilated barns for dairy cows: New building design with cow comfort in mind. Internacional Conference of Agricultural Engineering. Zurich 6-10 July.

GOOCH, C.A.; TIMMONS, M.B. 2000. Tunnel ventilation for freestall barns. Pages 186–201. in Proc. Dairy Housing and Equipment Systems: Managing and Planning for Profitability. NRAES-129, Natural Resource, Agric., Engineering Service, Ithaca, NY.

HAHN, G.L. 1982. Compensatory performance in livestock: influences on environmental criteria. Proc 2 International Livestock Environment Symposium, Ames.

HILLMAN, P. E.; GEBREMEDHIN, K. G.; PARKHURST, A.; FUQUAY, J.; WILLARD. 2001. Evaporative and convective cooling of cows in a hot and humid environment. Pages 343–350 in Livestock Environment VI, Proc. 6th Int. Livest. Environ. Symp. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.

HUHNKE, R.L.; McCOWAN, L.C.; MEREZ, G.M.; HARP. S.L.; PAYTON, M.E. Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2001, California. Proceedings... St. Joseph: ASAE, 2001. 12 p

JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. 1962. Effects of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. University of Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin, 791.

- JOHNSON, H. D.; VANJONACK, W. J. 1976. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *Journal of Dairy Science*, 59(9), 1603 -1617.
- KARIMI, M.T.; GHORBANI, G.R.; KARGAR, S.; DRACKLEY, J.K. 2015. Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 98, 6865–6875.
- LOBECK, K. M., ENDRES, M. I, SHANE, E. M., GODDEN, S. M. & FETROW, J. 2011. Animal welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy barns in the upper Midwest. *Journal of Dairy Science*, 94, 5469-5479.
- MAIA, A. S. C.; DA SILVA, R. G; LOUREIRO, C. M. B. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 50:17–22.
- MARCHETO, F.G.; NÄÄS, I.A., SALGADO, D. 2002. Efeito das temperaturas de bulbo seco e de globo negro e do índice de temperatura e umidade, em vacas em produção alojadas em sistema de freestall. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v.39, p.320-323.
- NAVARINI, F.C; KLOSOWSKI, E.S.; CAMPOS, A.T.; TEXEIRA, R.A.; ALMEIDA, C.P. 2009. Conforto térmico de bovinos da raça nelores a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.4, p.508-517.
- RODRIGUES, V.C., DA SILVA, I.J.O., VIEIRA, F.M.C. & NASCIMENTO, S.T. 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, 55, 455-459.
- RYAN, D. P., M. P. BOLAND, E. KOPEL, D. ARMSTRONG, L. MUNYAKAZI, R. A. GODKE, AND R. H. INGRAHAM. 1992. Evaluating two different evaporative

cooling management systems for dairy cows in a hot, dry climate. *J. Dairy Sci.* 75:1052–1059.

SILVA, D.C.; PASSINI, R. 2017. Physiological responses of dairy cows as a function of environment in holding pen. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.37, n.2, p.206-214.

SHIAO, T.F.; CHEN, J.C.; YANG, D.W.; LEE, S.N.; LEE, C.F.; CHENG, W.T.K. 2011. Feasibility assessment of a tunnel-ventilated, water-padded barn on alleviation of heat stress for lactating Holstein cows in a humid area. *J. Dairy Sci.*, 94, 5393–5404.

SMITH , JF; BRADFORD , BJ; HARNER , JP; POTTS, JC; ALLEN , JD; OVERTON, MW; ORTIZ , XA; COLLIER, RJ. 2016. Short communication: Effect of cross ventilation with or without evaporative pads on core body temperature and resting time of lactating cows. *J Dairy Sci.* 2016 Feb;99(2):1495-500.

SMITH, J.F.; HARNER, J.P.; BRADFORD, B.J.; DHUYVETTER, K.C. Opportunities with Low Profile Cross Ventilated Freestall Facilities. <<https://www.asi.k-state.edu/doc/dairy/opportunities-with-lpcv-freestall-facilities.pdf>> Acessado em novembro de 2014.

SMITH, JF; HARNER 2007, JP. Comprehensive evaluation of a low-profile cross-ventilated freestall barn. *Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference*, March 7-9, Reno, Nevada, p. 127-147. <http://www.wdmc.org/2007/WDMC%202007.pdf>

SMITH, T.R.; CHAPA, A.; WILLARD, S.; HERNDON JR., C; WILLIAMS, R.J.; CROUCH, J.; RILEY, T.; POGUE, D. 2006. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast. I: Effect on body temperature and respiration rate. *J. Dairy Sci.* 89: 3904–3914.

SMITH, J.F.; HARNER, J.P.; BRADFORD, B.J.; OVERTON, M.W. 2008. Opportunities with low profile cross ventilated freestall facilities. *Dairy research*. College of Veterinary Medicine. University of Georgia, Athens. 31-40.

- STOWELL, R.R., GOOCH, C.A.; INGLIS. S. 2001. Performance of tunnel ventilation for freestall dairy facilities as compared to natural ventilation with supplemental cooling fans. Pages 29-40 in Proc. 6th Int. Symp. Livestock Environment VI. May 21-23, Louisville, Ky.
- TURNER, L.W.; CHASTAIN, J.P.; HEMKEN, R.W.; GATES, R.S.; CRIST,W.L. 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. Appl. Eng. Agric., 8, 251–256.
- WATT, J.R.; BROWN, W.K. Evaporative air conditioning handbook. 3rd edition. Lilburn, 1997.
- WEST, J.W. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. Journal of Dairy Science , Volume 86 , Issue 6 , 2131 – 2144.
- ZOA-MBOE, A.; HEAD, H.H.; BACHMAN, K.C.; BACCARI,F,JR.;WILCOX, C.J. 1989. Effects of bovine somatotropin on milk yield composition, dry matter intake, and some physiological functions of Holstein cows during heat stress. Journal of Dairy Science, v.72, p.907-916.

3. EXISTE VARIABILIDADE ESPACIAL DE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS E FÍSICAS NO INTERIOR DE GALPÕES FREESTALL DE LATERAIS ABERTAS E FECHADAS ?

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo caracterizar, avaliar e comparar a variabilidade espacial microclimática do galpão freestall com ventilação cruzada (LPCV) e do galpão freestall convencional (FVA) para confinamento de bovinos leiteiros. As variáveis temperatura de bulbo seco (T_{bs}), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V_v), nível de ruído (R_d) e de iluminância (L) foram registradas no interior de dois galpões freestall, no turno da manhã e da tarde, durante as estações primavera, verão e outono, por meio de uma malha de pontos de 88 pontos no FVA e 126 no LPCV. Calculou-se os valores do índice de temperatura e umidade (THI) e entalpia específica do ar (h). O galpão LPCV apresentou variabilidade espacial para todas as variáveis. As variáveis no interior do LPCV apresentaram uma dispersão gradiente, no sentido transversal. Em comparação com o FVA, a instalação LPCV mostrou menor variabilidade para as variáveis umidade e velocidade do vento; porém, maior variabilidade para entalpia específica do ar e nível de ruído. No caso de temperatura do ar e THI, o LPCV apresentou maior variabilidade no período da tarde. Apesar da variabilidade espacial no interior do LPCV, os valores de temperatura, velocidade do vento, THI e pressão sonora estiveram dentro das faixas consideradas confortáveis para vacas em lactação, porém, a umidade e entalpia específica do ar estiveram acima dos limiares, principalmente no verão.

Palavras-chave: geoestatística, estresse térmico, ventilação cruzada, sistema de resfriamento evaporativo, vacas leiteiras

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize, evaluate and compare the microclimatic spatial variability of the freestall cross-ventilation (LPCV) and the conventional freestall for the confinement of dairy cattle. The variables temperature, relative humidity, wind speed, noise, luminosity, temperature and humidity index (THI) and specific enthalpy were sampled in the morning and afternoon. During the spring, summer and fall seasons. The variables were sampled in 88 points in the FVA and 126 in the LPCV. The LPCV presented spatial variability for all climatic variables. The variables within the LPCV presented a gradient dispersion in the longitudinal direction. In comparison to the FVA, the LPCV showed lower variability for the variables humidity and wind speed. However, greater

variability for specific enthalpy and noise level. In the case of temperature and THI, LPCV presented greater variability in the afternoon. Despite the spatial variability within the LPCV, the values of temperature, wind speed, THI and sound pressure were within the ranges considered comfortable for lactating cows, but the humidity and enthalpy were above the thresholds, especially in the summer.

Key-words: heat stress, cross-ventilation, evaporative cooling panels, dairy cows

3.1. Introdução

Os fatores que levam os produtores de leite a escolher um tipo de sistema de produção envolvem desde o custo, o retorno econômico, a durabilidade, o conforto animal até a facilidade e a eficiência de manejo. O confinamento do gado leiteiro em instalações do tipo *freestall*, cada vez mais, é a opção adotada pelos grandes produtores leiteiros que buscam modernizar e otimizar o sistema de criação de bovinos de raças especializadas, driblando fatores desfavoráveis do ambiente tropical, como por exemplo, as adversidades climáticas, ectoparasitas, mão-de-obra, espaço, etc. Dentro desse cenário, uma nova tecnologia para instalação do tipo *freestall* vem se destacando, o galpão *low-profile cross-ventilated* (LPCV).

O LPCV é uma instalação totalmente fechada com sistema de ventilação cruzada e resfriamento evaporativo adiabático. Muitas são as vantagens atribuídas ao sistema LPCV, destacando-se: o melhor controle do microclima durante todas as estações do ano, que proporciona uma minimização das flutuações na temperatura corporal das vacas em lactação, resultando em menor impacto do estresse térmico sobre desempenho reprodutivo e produtivo (SMITH et al. 2008, HARNER et al., 2009, ENDRES et al., 2011), a possibilidade de confinar maior número de animais em uma menor área (menor *footprint*), a menor distância entre área de confinamento e a sala de ordenha (ENDRES et al., 2011), e a redução com custos com controle de ectoparasitas (SMITH et al. 2008).

Quando o assunto em pauta é ambiência de vacas leiteiras, um dos pontos mais discutidos e desafiadores é o conforto térmico, e isso é justificado uma vez que, o Brasil é um país de clima tropical. Mas, a ambiência animal é um conceito multifatorial que considera todos os elementos presentes no meio de criação. Desse modo, com a adoção desse novo modelo de instalação de confinamento, com maiores proporções dimensionais e totalmente fechado, além das variáveis

temperatura e umidade do ar que podem acarretar certo desconforto aos animais confinados, há outros fatores ambientais como a velocidade do vento, a iluminação artificial, o ruído oriundo de equipamentos, e a concentração de gases e poeira que assumem papel importante para a qualidade de criação dos animais.

Dessa forma, a necessidade do controle e conhecimento efetivo das variáveis físicas ao longo de toda a instalação, sua quantificação e seus efeitos, justificam o uso de diferentes métodos matemáticos e computacionais, tais como a geoestatística (CARVALHO et al., 2012; SILVA et al., 2012; MIRAGLIOTTA et al., 2006) para a resolução dos problemas e a possibilidade de descrição da variabilidade espacial das variáveis ambientais. As análises de geoestatística podem auxiliar no melhor domínio das informações de ambiência em instalações zootécnicas, e, assim, proporcionar ferramentas mais eficientes e eficazes para identificação de possíveis problemas do sistema de produção.

Desse modo, a pesquisa teve como objetivo caracterizar, avaliar e comparar a variabilidade espacial microclimática e física do galpão freestall com ventilação cruzada (LPCV) e do galpão freestall convencional para confinamento de bovinos leiteiros.

3.2. Material e métodos

A pesquisa foi realizada entre outubro de 2014 e junho de 2015, durante as estações primavera, verão e outono. Os galpões freestall estavam localizados em uma propriedade leiteira comercial localizada no município de São Pedro, São Paulo, altitude de 580 m, coordenadas 22°33'14"S e 47°58'46"O. O clima da região é do tipo Cwa da classificação Köppen, quente e úmido com estação chuvosa no verão e seco no inverno (ALVARES et al., 2013).

3.2.1. Caracterização dos galpões freestall para confinamento de vacas leiteiras

Os galpões freestall apresentavam diferentes tipologias, sendo:
FVA: freestall convencional de laterais abertas, ventilação natural associada ao sistema de aspersão e ventilação forçada;

LPCV: freestall fechado, com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (placas evaporativas + exaustores).

As caracterizações dos galpões de confinamentos estão descritas na seção 2.1 do segundo capítulo.

3.2.1.1. Variabilidade espacial dos atributos microclimáticos e físicos do sistema de produção

As variáveis temperatura de bulbo seco (Tbs, °C), umidade relativa (UR, %) e velocidade do vento (Vv, m/s), ruído (Rd, dB(A)) e iluminância (L, lux) foram registradas no interior de dois galpões freestall climatizados (FVA e LPCV), no turno da manhã e da tarde, durante as estações primavera, verão e outono. Posteriormente, calculou-se o Índice de Temperatura e Umidade (THI) e a entalpia específica do ar (h, kJ.kg de ar seco⁻¹) (Figura 15).

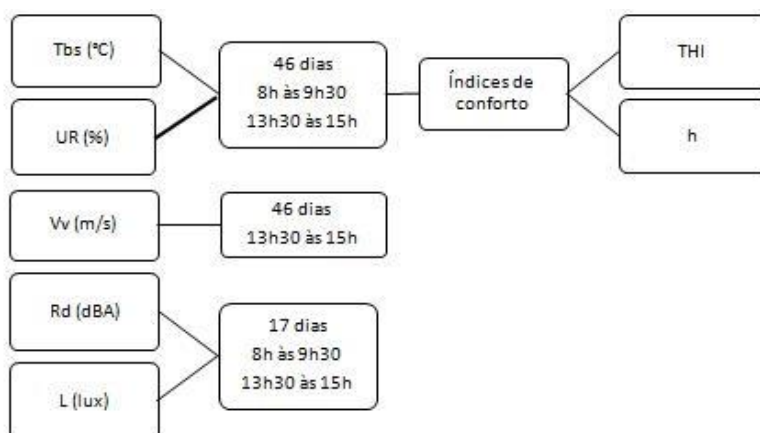


Figura 15. Variáveis físicas e índices de conforto registradas no interior de dois galpões freestall climatizados (FVA e LPCV) através de uma malha regular, no período da manhã e da tarde, durante as estações primavera, verão e outono.

As variáveis foram coletadas em dias não consecutivos e em dois turnos (manhã e tarde), sendo que a Tbs, UR e Vv obtiveram 46 dias de avaliação, porém, o Rd e L obtiveram 17 dias. Cabe ressaltar que a aquisição da variável Vv foi realizada somente no turno da tarde, período no qual os ventiladores do galpão FVA estavam acionados (Tabela 18).

Tabela 18. Cronograma de coleta dos atributos microclimáticos do ambiente: temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), nível de ruído (Rd) e de iluminância (L), nos diferentes turnos e estações do ano, em dois tipos de freestall (LPCV e FVA).

Variáveis	Número de dias de registro das variáveis						Total de observações por galpão
	Primavera 2014		Verão 2014/15		Outono 2014/15		
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	
Tbs	10	10	19	19	17	17	92
UR	10	10	19	19	17	17	92
Vv	-	10	-	19	-	17	46
Rd	-	-	9	9	8	8	34
L	-	-	9	9	8	8	34

Os horários das avaliações nos diferentes turnos, manhã (08h00min às 09h30min) e tarde (13h30min às 15h00min), são referentes a presença dos animais nos respectivos galpões.

O estudo considerou o horário de verão, com início no dia 19 de outubro 2014 e término 22 de fevereiro de 2015. Durante esse período, os registros dos dados iniciaram às 9h00min e 14h30min.

3.2.1.2. Malha regular para coleta de dados

As variáveis Tbs, UR, Vv, Rd e L foram coletadas manualmente. As especificações dos instrumentos e as escalas adotadas estão descritas na Tabela 19.

Tabela 19. Especificações dos instrumentos utilizados para mensurar variáveis ambientais e climáticas, e as escalas adotadas para essa pesquisa.

Instrumento	Funções	Escalas adotadas e especificações do aparelho
INSTRUTHERM THDL-400	Luxímetro	Escala: 200-20000 lux Precisão: $\pm 5\%$; repetibilidade: $\pm 2\%$; fotodiodo de silício com filtro
	Decibelímetro	Escala: ponderação A Resolução: 0,1dB; frequência típica: 30Hz~10kHz; precisão: $\pm 3,5$ dB; microfone de eletreto condensado
	Higrômetro	Escala: 25%~ 95% RH Resolução: 0,1% RH; precisão: $\pm 5\%$ RH
	Termômetro	Escalas: $-20^{\circ}\text{C} \sim +750^{\circ}\text{C}$ Resolução: 0,1 $^{\circ}\text{C}$, precisão: $\pm 3,5\%$ da leitura + 2 $^{\circ}\text{C}$
ICEL AN-10	Anemômetro	Escala: 0,3 ~45 m/s
		Resolução: 0,1 m/s; menor leitura: 0,3; exatidão: $\pm 3\% \pm 0,1$

A representação esquemática da malha de pontos para amostragem das variáveis é apresentada na Figura 16. O FVA apresentou 88 pontos, e o LPCV possuía 126 pontos de coletas.

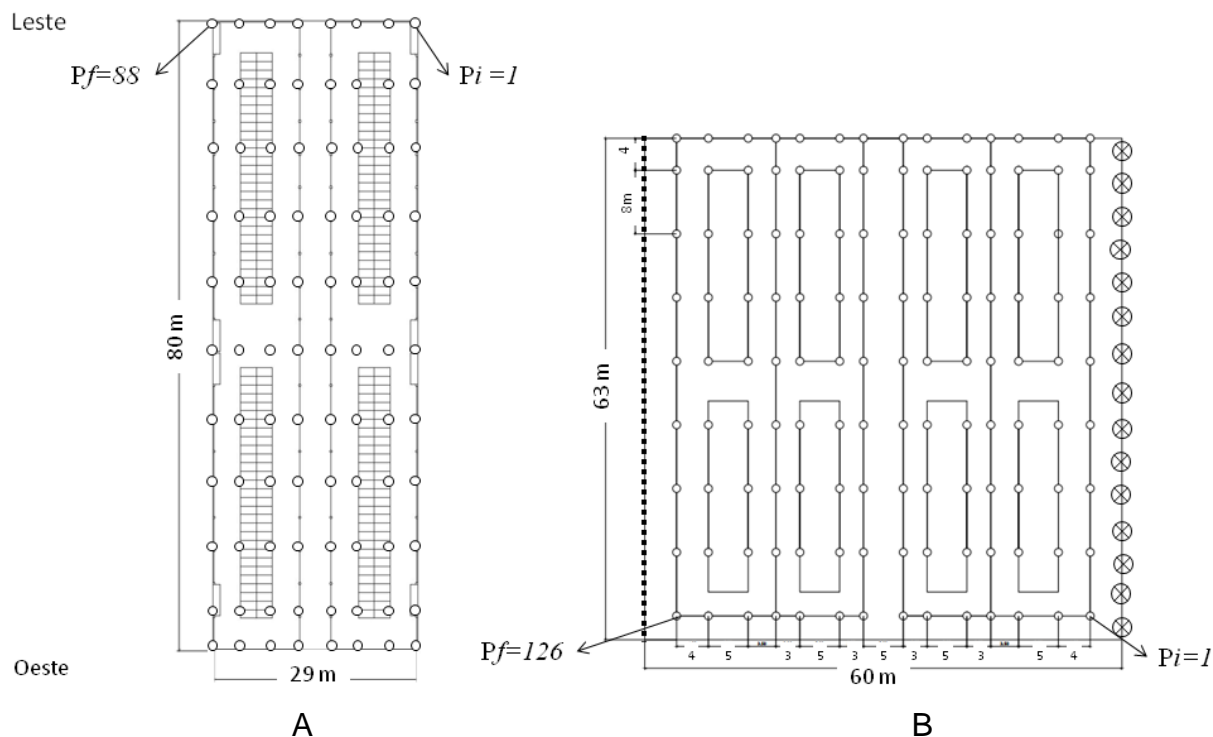


Figura 16. Malha de pontos para amostragem da temperatura, umidade, velocidade do vento, nível de ruído e de iluminância de dois galpões para alojamento de vaca leiteira. (A) FVA: freestall com laterais abertas, 88 pontos; (B) LPCV: freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada, 126 pontos. Os ventiladores do FVA (A) eram direcionados no sentido leste-oeste.

O ponto “Pi” indica o ponto inicial da coleta de dados e “Pf” o ponto final. As variáveis foram registradas em esquema “zigue-zague” entre linhas adjacentes, até alcançar o ponto “Pf”, conforme Figura 16.

3.2.1.3. Índices de conforto térmico

Com o objetivo de verificar o nível de conforto dentro das instalações foi considerada a variabilidade espacial dos índices de conforto térmico. Dessa forma de acordo com os dados registrados foi possível determinar os índices:

a) Índice de Temperatura e Umidade (THI), proposto por Johnson e Vanjonack (1976):

$$THI = Tbs + 0,36 * Tpo + 41,5$$

eq.5

onde: Tbs – temperatura de bulbo seco (°C); Tpo – temperatura de ponto de orvalho (°C).

b) entalpia específica (h), proposta por Rodrigues et al. (2011):

$$h = 1,006 * Tbs + \frac{UR}{pb} 10^{\frac{7,5 * Tbs}{237,3 + Tbs}} (71,28 + 0,052 * Tbs)$$

eq.4

onde: h - entalpia (kJ/kg de ar seco); Tbs – temperatura de bulbo seco (°C); UR– umidade relativa (%); Pb – pressão barométrica (mmHg), igual a 760 mmHg.

Considerou-se o valor da pressão barométrica da cidade de São Pedro, estado de São Paulo, Brasil, igual a 760 mmHg.

3.2.1.4. Análise geoestatística

A análise estatística dos dados foi processada em duas etapas. A primeira fase consistiu na análise estatística descritiva clássica. Na segunda fase, foram utilizados métodos geoestatísticos para caracterizar a variabilidade espacial dos dados.

A análise estatística descritiva visou caracterizar as posições centrais de dispersão dos dados, além de expressar a forma da distribuição. Utilizaram-se os três parâmetros para caracterizar a distribuição amostral: a) medidas de posição (média, mediana, máxima e mínima); b) medidas de dispersão (erro padrão da média e coeficiente de variação); c) medidas de forma de distribuição (coeficiente de assimetria e curtose).

A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk, com nível de 5% de significância. Adotou-se esse teste, porque em estudos de simulação, o teste de Shapiro-Wilk mostrou-se o mais poderoso para todos os tipos de distribuição e tamanhos de amostras, enquanto que o de Kolmogorov-Smirnov mostrou-se o menos poderoso (RAZALI & WAH, 2010; MENDES e PALA, 2003).

Para a análise geoestatística é mais importante os dados satisfazerem a condição de estacionariedade (existência de ocorrência do efeito proporcional em

que a média e a variância sejam constantes na área de estudo) do que a normalidade dos dados (BETTINI, 2007); mas, é apropriado que a curva de distribuição dos dados não exibam caudas muito alongadas, ou seja, valores muito distantes da média, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, uma vez que estas são baseadas nos valores médios (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; WARRICK & NIELSEN, 1980).

Duas medidas de dispersão foram utilizadas para analisar a curva de distribuição dos dados, o coeficiente de assimetria (Ass) e de curtose (k).

O coeficiente de assimetria igual a zero indica uma distribuição simétrica, na qual o valor máximo encontra-se no ponto central da distribuição. Desta forma, considera que os pontos equidistantes do centro possuem a mesma frequência. Valores positivos (Ass>0) indicam assimetria à direita, isto é, a cauda direita da distribuição, onde estão os valores acima da média, é mais alongada. Valores negativos (Ass<0) indicam assimetria à esquerda (FERREIRA, 2005).

A curtose indica se a distribuição esta mais ou menos concentrada, ou seja, se a curva esta mais ou menos achatada em relação à curva normal. Curtose igual a zero (k=0) indica que o grau de achatamento da curva de distribuição é semelhante ao da distribuição normal. A curtose positiva (k>0) indica uma distribuição mais pontiaguda/concentrada do que a normal, e com caudas mais alongadas que esta, no sentido de que se podem obter valores muito distantes da média. A curtose negativa (k<0) indica uma distribuição mais achatada do que a normal, as frequências dos pontos da curva são mais próximas (FERREIRA, 2005).

Em relação a geoestatística, a dependência espacial foi verificada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade, a qual é estimada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

eq.5

em que:

N (h) é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h;

Z (xi) é o valor determinado em cada ponto de leitura;

Z (xi + 1) é o valor médio de um ponto, mais uma distância h.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $y(h)$ foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é à distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando à distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985).

O efeito pepita (C_0) é um parâmetro que indica a variabilidade não explicada considerando a distância de amostragem utilizada (MCBRATNEY & WEBSTER, 1985). O C_0 pode ser expresso como porcentagem do patamar (C_0/C_0+C_1*100) e, tem por objetivo facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis (TRANGMAR et al., 1985). Desse modo, utilizou uma adaptação da classificação de CAMBARDELLA et al., (1994), no qual o semivariograma é considerado de ajuste fraco, para GD abaixo de 25%; moderado, para valores entre 25 e 75%; e forte para valores acima de 75%

Após determinação do semivariograma experimental, é necessário ajustá-lo ao semivariograma teórico. Os modelos testados foram o esférico, o exponencial, linear, o gaussiano e o wave. Os modelos foram ajustados ao semivariograma experimental pelo método da Máxima Verossimilhança, Mínimos Quadrados Ordinários e Mínimos Quadrados Ponderados.

Modelo esférico (Shf), para $0 < h < a$ e $\hat{y}(h) = C_0 + C_1$ para $h > a$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1.5 * \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 * \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]$$

Modelo exponencial (Exp), para $0 < h < d$, onde d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido.

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \text{EXP} * \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right\}_1$$

Modelo linear (Lin), para $0 < h < a$, em que $C_1.a^{-1}$ é o coeficiente angular, determinado pela equação da reta.

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + \frac{(C_1 * h)}{a}$$

Modelo Gaussiano (Gau), Para $0 < h < d$.

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \text{EXP} * \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] \right\};$$

Para análise e escolha do modelo matemático que melhor se ajustou ao semivariograma experimental, considerou-se o maior valor do coeficiente de determinação obtido pelo método da validação cruzada, e os valores do erro médio reduzido (ER) e desvio-padrão dos erros (SER). O erro médio reduzido mais próximo de zero e o desvio-padrão mais próximo de 1 foram os critérios aplicados para a escolha do melhor modelo, conforme Andriotti (2003).

As análises geoestatísticas e desenvolvimento dos mapas de krigagem foram desenvolvidas pelo software R, utilizando-se o pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR & DIGGLE, 2001).

3.3. Resultados e Discussão

Em ambas as instalações, a partir do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$), rejeitou-se a normalidade dos dados, na maioria das situações avaliadas. No entanto, os dados satisfizeram a condição de estacionariedade, tendo em vista que os semivariogramas apresentaram patamares bem definidos (VIEIRA & LOMBARDI NETO, 1995). Com exceção, da umidade relativa do ar do freestall LPCV que não apresentou variação dos dados, no turno da manhã da estação verão.

3.3.1. Temperatura de bulbo seco

As médias de temperatura de bulbo seco do freestall LPCV, descritas na Tabela 20, estiveram dentro da zona de conforto térmico para vacas em lactação ($T_{bs} < 25^\circ\text{C}$), de acordo com Cortez e Magalhães (1992), Bucklin e Bray (1998) e West (2003). No interior do galpão FVA, as médias indicam condição de estresse térmico, no turno da tarde das estações primavera e verão.

Em ambas as instalações, o erro padrão da média e o coeficiente de variação foram baixos ($CV < 12\%$), de acordo com Warrick e Nielsen (1980), demonstrando baixa dispersão dos dados. Silva et al. (2012) e Faria et al. (2008)

encontraram resultados semelhantes, em que obtiveram baixos CV para temperatura do ar na sala de pré-ordenha e freestall climatizado, respectivamente.

Tabela 20. Análise estatística descritiva da temperatura de bulbo seco (°C).

Estação	Turno	Galpão	Média ±EP	CV	Min	Mediana	Max	k	Ass	P-valor
PRIMAVERA	Manhã	FVA	22,7 ±0,06	2,69	21,5	22,6	25,8	13,46	2,68	<0,0001
		LPCV	21,1 ±0,03	1,73	20,5	21,0	22,0	-0,61	0,50	0,0005
	Tarde	FVA	31,0 ±0,04	1,44	30,6	31,0	33,2	9,64	2,93	<0,0001
		LPCV	23,6 ±0,03	1,80	22,7	23,5	24,4	-0,87	0,25	0,005
VERÃO	Manhã	FVA	23,7 ±0,03	1,44	22,9	23,7	25,1	3,76	0,84	<0,0001
		LPCV	22,9 ±0,02	1,08	22,4	22,9	23,4	-0,71	0,26	0,02
	Tarde	FVA	27,9 ±0,02	0,67	27,5	28,0	28,8	3,98	0,46	<0,0001
		LPCV	23,9 ±0,03	1,71	23,1	24,0	24,7	-0,87	-0,04	0,005
OUTONO	Manhã	FVA	21,0 ±0,04	1,96	20,4	21,0	22,2	0,49	0,83	0,0005
		LPCV	20,1 ±0,03	1,76	19,4	20,1	20,9	-0,87	0,06	0,003
	Tarde	FVA	25,0 ±0,02	0,85	24,6	24,9	25,5	-0,28	0,82	<0,0001
		LPCV	21,2 ±0,03	2,10	20,2	21,3	21,9	-0,61	-0,54	<0,0001

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Max= valor máximo; K=curtose; Ass =assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

Silva et al. (2012) mostraram que a baixa variabilidade de Tbs no interior de uma instalação aberta sem climatização é devida ao fato que a distribuição da temperatura esta sujeita diretamente a condição do ambiente natural, o que garante uma certa homogeneidade, e que na mesma instalação, a medida que aumenta o tempo de exposição ao SRAE, a variabilidade de Tbs progressivamente diminui, atingindo estabilizada da Tbs.

A partir do teste de normalidade de S-W ($\alpha=0,05$), rejeitou-se a normalidade para todos os dados. Esses resultados diferem com Silva et al. (2012) e Faria et al. (2008) que obtiveram normalidade para temperatura do ar, porém os autores utilizaram o teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de 1% de significância.

Analisando a Tabela 20, percebe-se que as curvas de frequência do freestall LPCV foram mais simétricas (Ass próximo de zero) e mais achatadas ($k<0$) comparado com o freestall FVA, indicando que a frequência dos valores de Tbs registrados ao longo do freestall LPCV tende a ser mais proporcional que no FVA. No FVA, os valores de assimetria e curtose se afastam mais positivamente de zero, indicando uma distribuição mais afunilada e com cauda mais alongada à direita.

Assim, espera-se que exista gradiente de temperatura ao longo do LPCV, provavelmente no sentido longitudinal, com valores de Tbs menores próximos às placas evaporativas e maiores próximos aos exaustores; e que no FVA, a maior parte da área interna do galpão apresente valores próximos e menores que a média, mas, exista algumas pequenas regiões que concentram os valores máximos de Tbs. Porém, apenas por meio da análise geoestatística foi possível verificar a dependência espacial, e em que regiões ocorrem os maiores e menores valores de Tbs no interior das instalações.

Os valores de mínima (Tabela 20) mostram que 100% dos dados do freestall LPCV estava dentro da faixa de conforto térmico, em todas as estações e turnos. Entretanto, para FVA, verificou-se que 100% dos dados estavam acima de 25°C, no período da tarde das estações primavera e verão. Esses resultados evidenciam que o sistema de resfriamento evaporativo do LPCV foi eficiente em reduzir a Tbs abaixo do limiar de estresse ao longo de toda a estrutura de confinamento. Resultados semelhantes foram verificados por Silva et al. (2012), Almeida et al. (2010), Faria et al. (2008) e Perissinotto et al. (2006) que avaliaram o uso de nebulizadores em curral de espera e freestall convencional, respectivamente. Esses autores evidenciaram que em sistemas abertos, o uso de resfriamento evaporativo foi suficiente para a redução da temperatura.

Na Tabela 21 estão descritos os semivariogramas selecionados para cada uma das situações avaliadas, mostrando que houve variabilidade espacial de temperatura em ambas as instalações.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 21) demonstraram que a temperatura apresentou dependência espacial ao longo do freestall LPCV, com grau de dependência moderado no turno da tarde do verão (IDE=64%) e forte nos demais, sendo ajustada ao modelo exponencial a praticamente todas as situações, com R^2 variando de 0,94 a 0,97. O alcance é a distância da qual os valores amostrais são correlacionados espacialmente, ou seja, é o raio de dependência espacial. Os maiores alcances encontrados foram 61,7 e 55,8 m, no turno da manhã das estações primavera e verão, respectivamente, e de 52,9 m no turno da tarde da primavera.

Tabela 21. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a variável temperatura de bulbo seco (Tbs).

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R^2
FVA	Manhã	Primavera	Exp	0,023	0,416	66,6	94	0,75
		Verão	Exp	0,000	0,090	53,0	100	0,88
		Outono	Gau	0,020	0,040	14,6	51	0,89
	Tarde	Primavera	Gau	0,018	0,133	19,3	87	0,92
		Verão	Sph	0,009	0,034	13,6	72	0,65
		Outono	Gau	0,007	0,019	14,3	66	0,85
LPCV	Manhã	Primavera	Exp	0,005	0,028	61,7	83	0,94
		Verão	Exp	0,002	0,009	55,8	77	0,94
		Outono	Exp	0,001	0,013	36,2	89	0,97
	Tarde	Primavera	Exp	0,004	0,024	52,9	83	0,97
		Verão	Sph	0,004	0,011	27,0	64	0,97
		Outono	Exp	0,003	0,035	29,4	91	0,96

C_0 = efeito pepita; (C_0+C_1) = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100-(C_0/ C_0 + C_1)*100)$, IDE<25% grau de dependência fraco, 25<IDE<75% moderado, IDE>75% forte; R^2 = coeficiente de determinação.

A temperatura no FVA (Tabela 21), também, apresentou dependência espacial, com grau de dependência forte (IDE=94,100 e 87%) e moderado (IDE=51, 72 e 66%), de acordo com Silva et al. (2012). Os semivariogramas foram ajustados aos modelos exponencial, gaussiano e esférico (R^2 variou de 0,65 a 0,92). Os maiores alcances foram encontrados no período da manhã com valores próximos de 66, 53 e 14 metros para a estação primavera, verão e outono, respectivamente.

A Figura 17 ilustra a distribuição e mapas de krigagem para a temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$) no interior dos galpões de confinamento para vacas leiteiras, os quais se mostraram heterogêneos.

Através da análise das Figura 17 (A), (B), (E) e (F), observa-se que a região do freestall FVA com valores de Tbs maiores ocorreram na parte anterior do galpão (sentido leste), no turno da manhã, e na parte posterior do galpão (sentido oeste), no turno da tarde. Essa alteração foi decorrente a incidência de radiação solar no interior do galpão aberto, atribuída à movimentação do sol (leste-oeste) ao longo do dia. A temperatura de bulbo seco não indicou direção preferencial, ou seja os dados não possuem anisotropia, de acordo com Silva et al. (2012) em curral de espera com SREA.

Em relação aos mapas térmicos do freestall LPCV (Figura 17 (C), (D), (G), (H) (K) e (L)), percebe-se que existe um gradiente ao longo da instalação, em que os

menores valores de Tbs estiveram próximos às placas de resfriamento evaporativo, e os maiores localizados na lateral próximas aos exaustores. Harner e Smith (2008) avaliaram freestall LPCV, e, também, verificaram que a temperatura de bulbo seco próxima aos painéis evaporativos era menor comparado a temperatura próximas aos exaustores.

De acordo com a Figura 17, o galpão LPCV apresentou menor amplitude de temperatura que o FVA, no turno da manhã e tarde da estação primavera (1,4 e 1,5°C vs. 4 e 2,6°C, respectivamente) e no turno da manhã do verão (1 vs. 2,1°C, respectivamente); e as mesmas amplitudes foram encontradas para os dois freestall no turno da manhã do outono (A igual a 1,4°C). No entanto, nos turnos da tarde, das estações verão e outono, o freestall LPCV apresentou maiores amplitudes de temperatura que o FVA (1,4 e 1,8 vs. 0,7 e 07°C, respectivamente).

Analisando as figura 17 (A) (D) (F) (J) (H) e (M), verifica-se que o FVA apesar da menor amplitude comparada ao freestall LPCV, apresentou um perfil térmico ao longo de todo o galpão com problemas de estresse térmico para confinamento de vacas leiteiras, com temperatura acima de 25°C, mesmo com o sistema de resfriamento evaporativo intermitente (aspersores e ventiladores) acionado, mostrando a ineficiência deste tipo de sistema para controle microclimático, visto que o uso de aspensão só é efetivo o animal se locomover até a linha de aspensão, para molhamento da superfície corporal, e tiver movimentação do ar suficiente para a perda de calor. Os resultados de Silva et al. (2012) mostraram que o uso de nebulizadores, com exposição mínima de 40 minutos, em instalação aberta foi eficaz em homogeneizar a Tbs, reduzindo seus valores abaixo de 25°C. Em todas as situações avaliadas, a área do galpão freestall LPCV apresentou Tbs dentro da faixa de temperatura (5 a 25°C) para criação de vacas holandesas em lactação.

3.3.2. Umidade relativa do ar

As médias de umidade relativa registradas no freestall LPCV, descritas na Tabela 22, estiveram acima da faixa ideal de 30 e 80% para o conforto térmico de vacas em lactação (Cortez e Magalhães, 1992). No interior do freestall FVA, no turno da tarde, as médias de 51, 80 e 64% na estação primavera, verão e outono, respectivamente, estiveram dentro desta faixa ideal de UR.

Tabela 22. Análise estatística descritiva da umidade relativa do ar (%).

Estação	Turno	Galpão	Média ±EP	CV	Min	Q2	Max	k	Ass	P-valor
PRIMAVERA	Manhã	FVA	88 ±0,24	2,60	78,4	89,1	92,8	6,53	-1,79	<0,0001
		LPCV	99 ±0,01	0,15	98,0	99,0	99,0	26,61	-5,15	<0,0001
	Tarde	FVA	51±0,14	2,72	45,6	50,9	53,4	4,12	-1,50	<0,0001
		LPCV	96 ±0,11	1,28	91,7	96,5	98,7	1,40	-1,02	<0,0001
VERÃO	Manhã	FVA	97 ±0,05	0,51	95,0	96,9	98,1	1,87	-0,33	0,009
		LPCV	99 ±0,00	0	-	-	-	-	-	-
	Tarde	FVA	80 ±0,08	1,02	79,0	80,4	82,4	-0,43	0,42	0,06
		LPCV	99 ±0,01	0,21	98,3	98,9	99,1	-1,14	-0,36	<0,0001
OUTONO	Manhã	FVA	86 ±0,21	2,33	82,2	86,1	89,4	-1,42	-0,10	<0,0001
		LPCV	99 ±0,07	0,82	97,3	98,7	100	-1,12	-0,14	<0,0001
	Tarde	FVA	64 ±0,12	1,85	61,1	63,8	66,4	-0,26	-0,14	0,51
		LPCV	93 ±0,21	2,52	87,6	93,2	98,1	-0,58	0,10	0,008

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Max= valor máximo; K=curtose; Ass =assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

Em ambas as instalações, o erro padrão da média e o coeficiente de variação foram baixos ($CV < 12\%$), de acordo com Warrick & Nielsen (1980), demonstrando baixa dispersão dos dados. O freestall LPCV apresentou no turno da manhã do verão erro padrão igual a zero, ou seja, não houve variabilidade dos dados, demonstrando que a umidade em todo o perfil da instalação foi homogênea. Esses resultados diferiram de Faria et al. (2008) e Miraglot et al.(2006) que avaliaram galpões para alojamentos de frango de corte e bovinos de leite, usando sistemas de resfriamento evaporativo, respectivamente, os autores encontraram variabilidade média para UR ($12 < CV < 24$).

A partir do teste de normalidade S-W ($\alpha=0,05$), rejeitou-se a normalidade dos dados, com exceção do FVA no turno da manhã da estação outono. Analisando a Tabela 22, percebe-se que as curvas de frequência do freestall LPCV foram mais simétricas e mais achatadas ($k<0$) comparadas ao FVA, nas estações verão e outono; porém, na estação verão, o freestall LPCV apresentou curvas de frequência com altos valores positivos de curtose (manhã = 26,6; tarde = 1,4) e negativos de assimetria (manhã = -5; tarde = -1). Esses resultados evidenciam que a maior parte da área interna do freestall LPCV apresentou valores de UR acima dos valores médios, que foram maiores que 90% em todas as situações avaliadas.

Os valores de mínimas e máximas (Tabela 22) mostraram que toda a área interna do freestall LPCV apresentou valores de umidade relativa acima de 88%, independente do turno e estação. Valores de umidade relativa próxima de 90% foram, também, registradas por Smith et al. (2008) no interior do freestall LPCV.

Na Tabela 23 apresentaram-se os semivariogramas selecionados para cada uma das situações estudadas. A umidade relativa do freestall LPCV no turno da manhã da estação verão não apresentou variabilidade dos dados. Desse modo, não foi realizado a análise geoestatística.

Tabela 23. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a variável umidade relativa do ar (UR) nos dois galpões freestall.

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R ²
FVA	Manhã	Primavera	Exp	0,590	5,310	38,6	89	0,78
		Verão	Exp	0,031	0,283	38,6	89	0,77
		Outono	Wav	0,059	4,295	20,9	99	0,93
	Tarde	Primavera	Gau	0,511	1,860	33,8	73	0,75
		Verão	Sph	0,280	0,680	18,8	59	0,47
		Outono	Gau	0,194	1,989	36,1	90	0,88
LPCV	Manhã	Primavera	Exp	0,002	0,015	36,2	89	0,84
		Verão	EPP	-	-	-	-	-
		Outono	Exp	0,077	0,193	40,8	60	0,87
	Tarde	Primavera	Sph	0,190	0,640	44,2	70	0,85
		Verão	Exp	0,002	0,011	20,6	86	0,92
		Outono	Exp	0,290	1,050	36,2	72	0,91

C_0 = efeito pepita; (C_0+C_1) = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100-(C_0/ C_0 + C_1)*100)$, IDE<25% grau de dependência fraco, 25<IDE<75% moderado, IDE>75% forte; R² = coeficiente de determinação. EEP = efeito pepita puro.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 23) demonstraram que a umidade relativa do ar apresentou dependência espacial ao longo do freestall LPCV,

com grau de dependência forte no turno da manhã da primavera (IDE=89%) e no turno da tarde do verão (IDE=86%) e moderado nos demais. Os semivariogramas se ajustaram, principalmente, ao modelo exponencial, com R^2 variando de 0,84 a 0,92. Os alcances de UR, no freestall LPCV, obtiveram valores de 36,2 a 44,2 metros, nas diferentes situações avaliadas, com exceção do turno tarde da estação verão (= 20,6 m).

A umidade relativa no FVA (Tabela 23), também, apresentou dependência espacial, com grau de dependência moderado no turno da tarde da estação primavera (IDE=73%) e verão (IDE=59%), e forte nos demais semivariogramas. Os semivariogramas foram ajustados ao modelo exponencial, wave, gaussiano e esférico, com R^2 variando de 0,47 a 0,93. Os alcances encontrados no FVA, também foram próximos nas diferentes situações avaliadas, com valores que variaram de 33,8 a 38,6 metros, com exceção do turno da manhã da estação outono (20,9 m) e tarde do verão (18,8 m).

A Figura 18 ilustra o perfil da umidade relativa do ar (%) no interior dos galpões de confinamento para vacas leiteiras, os quais se mostraram heterogêneos.

A UR apresentou padrão oposto à temperatura de bulbo seco, assim como esperado. Nas regiões de maior temperatura, observaram-se os menores valores de UR (Figura 18 (A) (B) (C) (D) (E) (F) (H) (I) (L) (M)). Desse modo, observou-se que no LPCV, o gradiente ao longo da instalação é inverso aquele apresentado pela Tbs, ou seja, os maiores valores estão próximos às placas de resfriamento evaporativo, e os menores valores estão na lateral próximas aos exaustores.

O freestall LPCV apesar de apresentar variabilidade espacial de UR, apresentou menor amplitude da variável UR comparado ao galpão FVA, com exceção do turno da tarde na estação verão, com amplitude de 10,1%.

A alta concentração de UR no galpão LPCV é justificada pela ação do sistema de resfriamento evaporativo, que tem como mecanismo reduzir a temperatura do ar adicionando vapor d'água ao ambiente. Segundo (Smith et al. 2008), o SREA atinge seu máximo potencial de resfriamento, ou seja, atinge a menor temperatura possível, quando a saturação do ar ambiente atinge 100% de saturação. Desse modo, o sistema de resfriamento empregado no LPCV atingiu eficiência próxima da sua capacidade máxima, uma vez que se observou que o ar interno ultrapassou 90% de saturação, e apresentou decréscimos de Tbs, como observado anteriormente.

3.3.3. Velocidade do vento

As médias de velocidade do vento do freestall LPCV, descritas na Tabela 24, estiveram dentro da faixa considerada ideal para vacas leiteiras, de dois a quatro metros por segundo, de acordo com Hahn (1982) e Brody et al. (1954).

As médias de velocidade do vento do LPCV foram maiores daquelas apresentadas por Endres et al. (2011), em galpão LPCV, na estação primavera (2,7 vs. 0,96 m/s), no verão (2,7 vs. 1,2 m/s) e outono (2,1 vs. 0,7 m/s). Os mesmos autores verificaram que as velocidades do vento do LPCV e freestall convencional não diferiram entre si, exceto na estação verão.

No interior do FVA, a média foi 1,5 m/s, caracterizando uma velocidade do vento abaixo do recomendado para criação de gado leiteiro. Endres et al. (2011) encontraram velocidade do vento média de 0,66 m/s, em um freestall convencional.

De acordo com os valores das mínimas, verifica-se que a velocidade mínima registrada no LPCV foi de 1 m/s, enquanto que no FVA esse valor foi de 0,1 m/s (Tabela 24).

Tabela 24. Análise estatística descritiva da velocidade do vento ($m.s^{-1}$).

Estação	Turno	Galpão	Média \pm EP	CV	Min	Mediana	Max	k	Ass	P-valor
PRIMAVERA	Tarde	FVA	1,6 \pm 0,08	48,0	0,3	1,6	3,9	-0,20	0,52	0,01
		LPCV	2,7 \pm 0,04	20,6	1,1	2,7	3,9	-0,16	-0,27	0,40
VERÃO	Tarde	FVA	1,5 \pm 0,10	63,2	0,2	1,2	4,7	0,90	1,03	<0,0001
		LPCV	2,7 \pm 0,05	23,2	1,2	2,7	4,4	-0,27	0,15	0,46
OUTONO	Tarde	FVA	1,4 \pm 0,09	60,0	0,1	1,4	3,9	0,14	0,67	0,0007
		LPCV	2,1 \pm 0,05	27,6	1,0	2,0	3,7	-0,53	0,38	0,02

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Max= valor máximo; K=curtose; Ass =assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

O SREA atinge sua máxima eficiência, menor temperatura do ar, quando o ar atinge 100% de saturação. Segundo Garcia et al. (2014), a eficiência de saturação dos painéis depende da velocidade do vento que atravessa-o. Sob uma velocidade baixa, o ar tem mais tempo para incorporar mistura de água, e então obtendo maior eficiência. Os autores recomendam que para uma eficiente saturação de 80% e 70% é necessário velocidade do ar de 1 e 2 m/s, respectivamente. No

presente estudo, verificou-se que uma velocidade do vento acima de 2 m/s apresentou saturação do ar acima de 90%.

No freestall LPCV, os dados apresentaram coeficientes de variação médios (20,6 e 23,2%, na primavera e verão, respectivamente) e alto (27,6%, no outono), de acordo com Warrick & Nielsen (1980), demonstrando média e alta dispersão dos dados (Tabela 24). No FVA, os coeficientes de variação mostraram alta variação (48, 63 e 60%), de acordo com os resultados de Faria et al. (2008), que compararam diferentes sistemas de climatização em instalações freestall de laterais abertas. Comparando os dois ambientes, a variabilidade no interior do LPCV foi menor, como era esperado e proposto pelo conceito desse sistema.

A partir do teste de S-W ($\alpha=0,05$), aceitou-se a normalidade dos dados do freestall LPCV. Os resultados das medidas de dispersão indicam uma curva de frequência mais simétrica e mais “achatada”, para o galpão LPCV.

Na Tabela 25, apresentaram-se os semivariogramas selecionados para cada uma das situações estudadas. Os resultados da análise geoestatística demonstraram que a velocidade do vento apresentou dependência espacial ao longo dos galpões freestall, com grau de dependência espacial forte para FVA, e grau moderado (nas estações primavera e verão, 28 e 31%, respectivamente) e fraco (no outono, 24%) para LPCV.

Tabela 25. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para variável velocidade do vento (Vv) nos dois galpões freestall.

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R ²
FVA	Tarde	Primavera	Exp	0,077	0,617	15,6	88	0,68
		Verão	Exp	0,114	1,023	25,0	89	0,64
		Outono	Exp	0,150	0,730	25,0	79	0,65
LPCV	Tarde	Primavera	Gau	0,230	0,320	20,4	28	0,12
		Verão	Gau	0,270	0,390	17,0	31	0,10
		Outono	Gau	0,280	0,370	27,2	24	0,06

C_0 = efeito pepita; (C_0+C_1) = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100-(C_0/ C_0 + C_1)*100)$, IDE<25% grau de dependência fraco, 25<IDE<75% moderado, IDE>75% forte; R² = coeficiente de determinação.

Os semivariogramas do freestall LPCV (Tabela 25) se ajustaram ao modelo gaussiano, com R² variando de 0,06 a 0,12. Os alcances de UR obtiveram valores de 17 a 27 metros. A umidade relativa no FVA, também, apresentou dependência espacial, com grau de dependência forte. Os semivariogramas foram ajustados ao

modelo gaussiano e esférico, com R^2 variando de 0,66 a 0,67. Os alcances encontrados no FVA, na estação verão e outono foram iguais a 25 m, e na estação primavera, o alcance foi de 15 metros.

O galpão LPCV apresentou menor variabilidade espacial. Notam-se quatro distintas regiões ao longo da instalação. Uma região próxima aos painéis, com valores acima de 2,7 m/s; seguida de outra região com valores que variam entre 2,3 e 2,6 m/s; novamente uma região com valores maiores que 2,7 m/s, e por fim, uma quarta região próxima aos exaustores com valores abaixo de 2,6 m/s. Smith & Harner (2007) encontraram o mesmo padrão em uma instalação LPCV, no qual a seção próxima aos painéis apresentou maior VV, seguido de uma queda na segunda seção, aumento na terceira seção, e novamente queda na última seção adjacente aos exaustores.

Segundo Smith e Harner (2007), a presença de vacas nas áreas de confinamento de um LPCV tem impacto sobre a magnitude da pressão estática. A pressão estática na seção de baias adjacentes aos painéis evaporativos quando as vacas não estavam presentes foi de 0,025, quando as vacas estavam na linha de cocho foi de 0,031, e quando as vacas estavam nas baias de descanso foi de 0,029. Na segunda seção, a pressão estática sem a presença dos animais foi de 0,033 e aumento para 0,037 com presença dos animais. Esta variação é diretamente proporcional à velocidade do vento. Com presença de vacas, menor movimentação do ar será registrada através do grupo de vacas quando comparada a regiões com ausência de vacas. Normalmente situações de estresse térmico resultam em vacas de pé, o que pode resultar em um aumento do nível de estresse dos animais na última seção.

Segundo Berman (2005), à medida que a velocidade do vento aumenta o valor de temperatura crítica superior (TCS) se estende. Porém, à medida que a umidade aumenta, a TCS diminui. Além disso, o mesmo autor afirmou que o efeito da velocidade do vento sob o conforto térmico do animal era amplificado à medida que a umidade aumentava.

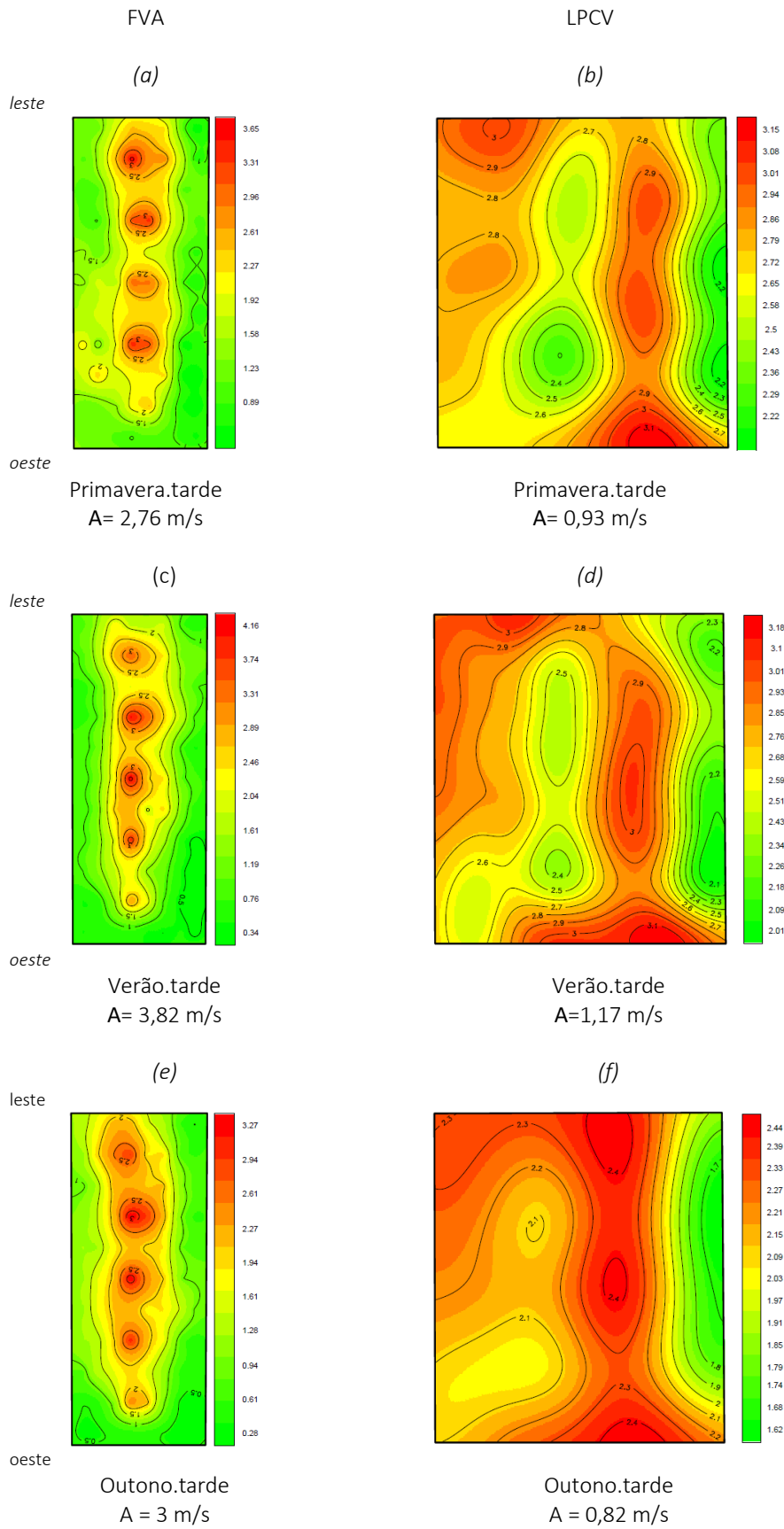


Figura 19. Mapas de krigagem para a variável velocidade do vento nos dois galpões de confinamentos para vacas leiteiras, no turno da tarde, em cada estação. A=amplitude.

Assim, a movimentação do ar dentro da faixa de 2 a 4 m/s dentro da instalação LPCV se mostra uma ótima característica do sistema para redução do efeito da umidade relativa do ar elevada sob o conforto dos animais de produção. Apesar desses resultados, o presente trabalho manteve TCS igual a 25°C para as classificações de entalpia e THI.

Stowell et al. (2001) avaliaram o desempenho de instalações freestall com ventilação tipo túnel comparadas com galpões de ventilação natural associada a ventilação forçada, nos meses de verão, nos estados de Ohio e Nova York. Os autores concluíram que em condições de verão em que há poucos períodos prolongados de tempo quente e úmido, tanto galpões naturalmente ventilado associado à ventilação forçada quanto galpões com ventilação do tipo túnel produziram condições de convecção similares dentro dos galpões. No período da tarde, os valores médios de temperatura de bulbo seco e THI, no galpão tipo túnel, foram ligeiramente inferiores (0,4°C e 0,3, respectivamente), no turno noturno, não houve diferenças. Os autores também observaram que os padrões de fluxo de ar eram diferentes em cada sistema, mas as velocidades no nível da vaca foram similares, demonstrando que o sistema de ventilação cruzada garante melhor movimentação do ar sobre os animais.

Berman (2005) apresentaram que a UR afeta a temperatura superior crítica na qual as vacas se sentem confortáveis. Em ambientes de baixa UR, a T_{bs} crítica pode ser tão alta quanto 32°C; mas, em caso de UR elevada, a T_{bs} crítica diminui para 25°C. Maia et al. (2005) verificaram que a perda de calor por sudação de vacas Holandesas em clima tropical decresceu de 500 para 60 g/m².h, quando a umidade aumentou de 30 para 90%. Mas, segundo Thompson (1974) e Berman (2005), os efeitos deletérios podem ser mitigados através de uma adequada velocidade do vento. Hilman et al. (2001) mostraram que um aumento da velocidade do vento (V_v) de 0,2 para 0,9 m/s diretamente sobre a superfície da vaca, aumentou a taxa de sudação de 75 para 350 g/m².h.

3.3.4. Índice de Temperatura e Umidade

As médias do Índice de Temperatura e Umidade (THI) do galpão LPCV, descritas na Tabela 26, estiveram abaixo do limiar de conforto térmico considerado neste estudo como sendo igual a 74, e de acordo com Johnson et al. (1962),

Rosenberg et al. (1983), Campos et al. (2002) e Azevedo et al. (2005). No interior do galpão FVA, no turno da tarde das estações primavera e verão, as médias foram de 79 e 78, respectivamente, apontando uma condição de desconforto térmico aos animais.

Tabela 26. Análise estatística descritiva do Índice de Temperatura e Umidade (THI).

Estação	Turno	Galpão	Média \pm EP	CV	Min	Mediana	Max	K	Ass	P-valor
PRIMAVERA	Manhã	FVA	67 \pm 0,06	0,91	65,7	66,9	70,1	13,13	2,58	<0,0001
		LPCV	67 \pm 0,03	0,66	66,5	67,2	68,4	-0,60	0,51	0,0004
	Tarde	FVA	79 \pm 0,05	0,60	78,6	79,0	81,3	8,15	2,63	<0,0001
		LPCV	72 \pm 0,04	0,68	71,6	73,5	73,5	-0,98	0,18	0,003
VERÃO	Manhã	FVA	73 \pm 0,04	0,59	72,6	73,5	75,3	3,63	0,76	<0,0001
		LPCV	73 \pm 0,03	0,46	71,9	72,6	73,4	-0,70	0,27	0,02
	Tarde	FVA	78 \pm 0,02	0,28	77,6	78,1	79,1	4,76	0,77	<0,0001
		LPCV	74 \pm 0,04	0,74	72,9	74,0	75,0	-0,85	-0,05	0,006
OUTONO	Manhã	FVA	69 \pm 0,04	0,66	68,5	69,1	70,8	2,09	1,29	<0,0001
		LPCV	69 \pm 0,03	0,64	68,0	68,8	69,8	-0,79	0,07	0,09
	Tarde	FVA	73 \pm 0,02	0,33	72,2	72,7	73,3	-0,05	0,42	0,14
		LPCV	70 \pm 0,04	0,67	68,8	70,0	70,7	-0,47	-0,66	<0,0001

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Max= valor máximo; K=curtose; Ass =assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

No galpão LPCV, de acordo com os valores de mínimas e máximas, observa-se que apenas no turno da tarde do verão, registraram-se valores acima de 74 (Tabela 26). No entanto, no turno da tarde das estações primavera e verão, 100% dos dados de FVA estiveram acima de 74, verificado pelos valores de mínimo igual a 78,6 e 77,6.

Em ambas as instalações, o erro padrão da média e a variabilidade dos dados foram baixos ($CV < 12\%$), de acordo com Warrick & Nielsen (1980), demonstrando baixa dispersão dos dados. Do mesmo modo que a Tbs, no período da manhã, encontrou-se maior variabilidade no galpão FVA; no entanto, no período da tarde, maior variabilidade foi registrada no LPVC.

De acordo com a Tabela 26, assumiu-se a normalidade apenas na estação outono, no turno da manhã para o freestall LPCV, e no período da tarde para FVA. Analisando os coeficientes de assimetria e curtose, percebe-se que as curvas de frequência do freestall LPCV foram mais simétricas e mais achatadas que do FVA, que apresentaram valores de assimetria e curtose se afastando mais positivamente

de zero, indicando uma distribuição mais afunilada e com cauda mais alongada à direita.

Assim, espera-se que exista gradiente de temperatura ao longo do freestall LPCV, provavelmente longitudinal, com valores de THI menores próximos às placas evaporativas e maiores próximos aos exaustores; e que no FVA, a maior parte da área interna do galpão apresente valores próximos e menores que a média, mas, existam algumas pequenas regiões que concentram os valores máximos de THI.

Na Tabela 27 apresentam-se os semivariogramas selecionados para cada uma das situações estudadas.

Tabela 27. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade (THI) nos dois galpões freestall.

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R^2
FVA	Manhã	Primavera	Exp	0,037	0,329	38,6	89	0,73
		Verão	Sph	0,020	0,211	36,6	90	0,89
		Outono	Exp	0,021	0,221	50,1	90	0,89
	Tarde	Primavera	Gau	0,037	0,193	21,9	81	0,85
		Verão	Sph	0,015	0,049	17,4	70	0,59
		Outono	Gau	0,019	0,065	50,5	71	0,71
LPCV	Manhã	Primavera	Exp	0,010	0,041	73,5	76	0,93
		Verão	Exp	0,004	0,016	52,9	72	0,94
		Outono	Exp	0,001	0,024	36,2	97	0,97
	Tarde	Primavera	Exp	0,003	0,028	36,2	89	0,97
		Verão	Gau	0,009	0,022	22,1	58	0,97
		Outono	Sph	0,008	0,043	28,4	80	0,94

C_0 = efeito pepita; $(C_0 + C_1)$ = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100 - (C_0 / (C_0 + C_1)) * 100)$, IDE < 25% grau de dependência fraco, 25 < IDE < 75% moderado, IDE > 75% forte; R^2 = coeficiente de determinação. EEP = efeito de pepita puro.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 27) demonstraram que o THI apresentou dependência espacial ao longo do freestall LPCV, com grau de dependência moderado no turno da manhã e tarde do verão (IDE=72 e 58%, respectivamente) e forte nos demais, ajustada ao modelo exponencial a praticamente todas as situações, com R^2 variando de 0,93 a 0,97. Os maiores alcances foram encontrados no período da manhã com valores próximos de 73, 52 e 36 metros para a estação primavera, verão e outono, respectivamente.

O THI no FVA (Tabela 27), também, apresentou dependência espacial, com grau de dependência moderado, no turno da tarde do verão e outono (IDE=70 e 71%, respectivamente) e forte nos demais. Os semivariogramas foram ajustados aos

modelos exponencial, gaussiano e esférico, com R^2 de 0,59 a 0,89. Os maiores alcances foram encontrados no período da manhã com valores próximos de 38, 36 e 50 metros para a estação primavera, verão e outono, respectivamente.

Os dois galpões de confinamento apresentaram maior variabilidade espacial do THI no turno da tarde, momento de maior calor ambiente.

A Figura 20 ilustra a distribuição e mapas de krigagem para o Índice de Temperatura e Umidade (THI) nos interiores dos galpões de confinamento para vacas leiteiras, os quais se mostraram heterogêneos.

A Figura 20 (A), (E) e (I) apresentam maiores valores de THI na parte anterior (leste) do galpão FVA, enquanto a Figura 20 (B) e (F) apresentam os maiores valores na parte posterior (oeste) do FVA, decorrente da incidência de radiação solar no interior da instalação. Assim, como os valores de Tbs, os valores de THI apresentados pelo galpão FVA indicam problemas térmicos para confinamento desses animais, uma vez que no período da tarde, os valores estiveram acima do limiar ($THI > 74,2$) ao longo de todo o galpão (Figura 20 (B) e (F)).

Em relação aos mapas do galpão LPCV (Figura 20 (C), (D), (G), (H) (K) e (L)), percebe-se que existe um gradiente ao longo da instalação, onde os menores valores estiveram próximos às placas de resfriamento evaporativo, e os maiores valores estão na lateral próximos aos exaustores. Os valores de THI do freestall LPCV estiveram abaixo de 74, condição de conforto térmico para criação de vacas holandesas em lactação, e de acordo com Igono et al. (1992), Rosenberg et al. (1983) e Johnson et al. (1962); exceção para estação verão e turno da tarde, na qual as médias foram um pouco acima do limiar, no corredor próximo aos exaustores.

De acordo com a Figura 20, o galpão LPCV apresentou menor amplitude do índice THI que o FVA, no turno da manhã e tarde da estação primavera (1,8 e 1,8 vs. 3,8 e 2,2, respectivamente) e no turno da manhã do verão (1,3 vs. 2,5, respectivamente) e manhã do outono (1,7 vs. 2, respectivamente). No entanto, nos turnos da tarde, das estações verão e outono, o freestall LPCV apresentou maiores amplitudes que FVA (2,1 e 1,6 vs. 1 e 0,6, respectivamente).

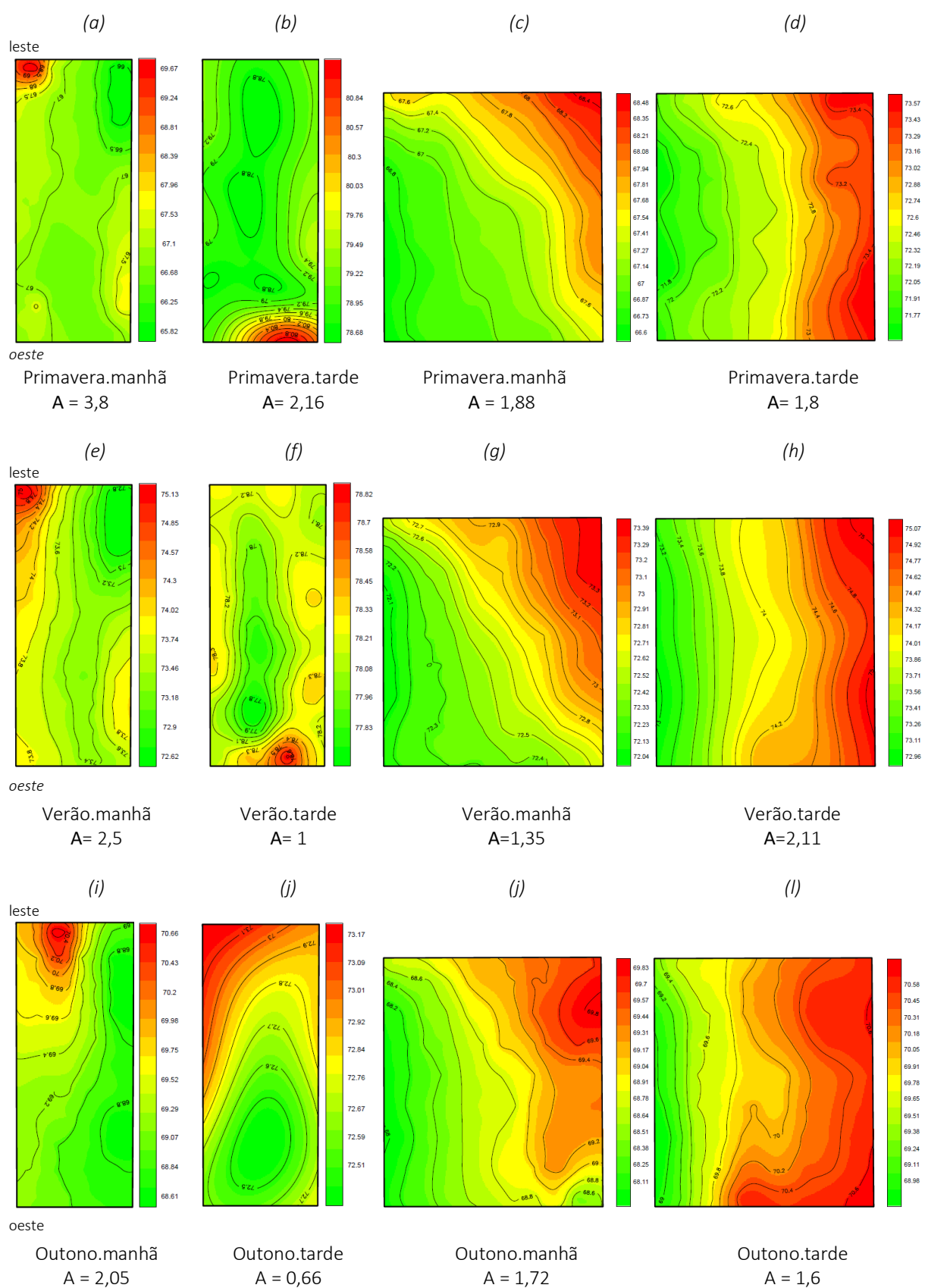


Figura 20. Mapas de krigagem para o Índice de Temperatura e Umidade nos dois galpões de confinamentos para vacas leiteiras, no turno da manhã e tarde, em cada estação. A = amplitude.

Os resultados mostraram que há variabilidade da variável THI em ambas as instalações Mas, vale ressaltar, que apesar da alta concentração de umidade do ar no interior do LPCV, o sistema de climatização foi eficiente em diminuir a temperatura de bulbo seco do ar, promovendo conforto térmico para vacas em lactação, segundo o índice THI.

3.3.5. Entalpia específica do ar

Os valores médios de entalpia específica do ar (Tabela 28) mostraram que as instalações foram desconfortáveis para o confinamento de vacas em lactação ($h < 64,7 \text{ kJ.kg de ar seco}^{-1}$), na estação primavera e verão. Na estação verão, tanto no turno da manhã quanto no turno da tarde, os galpões de confinamento FVA e LPCV apresentaram condições de estresse aos animais, atingindo médias de 77,2 e 70,5 $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$, respectivamente. Sendo que as condições mais severas de desconforto térmico foram registradas no FVA, com máximas de 73,4 e 80 kJ.kg de ar seco , no turno da manhã e da tarde, respectivamente.

Tabela 28. Análise estatística descritiva da entalpia específica do ar ($\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$).

Estação	Turno	Galpão	Média \pm EP	CV	Min	Mediana	Max	k	Ass	P-valor
PRIMAVERA	Manhã	FVA	61,2 \pm 0,12	1,8	58,8	61,1	66,9	9,41	1,95	<0,0001
		LPCV	60,3 \pm 0,11	2,0	58,1	60,0	63,5	-0,46	0,58	0,0003
	Tarde	FVA	65,9 \pm 0,07	1,0	64,7	65,8	68,6	2,93	1,23	<0,0001
		LPCV	68,0 \pm 0,09	1,6	65,8	67,9	70,2	-1,08	0,11	0,001
VERÃO	Manhã	FVA	68,7 \pm 0,13	1,7	65,8	68,6	73,4	3,80	0,60	<0,0001
		LPCV	66,3 \pm 0,08	1,3	64,5	66,2	68,3	-0,76	0,26	0,01
	Tarde	FVA	77,2 \pm 0,06	0,8	76,0	77,1	80,0	4,30	1,47	<0,0001
		LPCV	70,5 \pm 0,12	2,0	67,4	70,5	73,1	-0,77	-0,03	0,01
OUTONO	Manhã	FVA	55,4 \pm 0,07	1,3	54,5	55,3	58,4	5,56	2,01	<0,0001
		LPCV	57,8 \pm 0,07	1,5	56,1	57,7	60,1	-0,46	0,20	0,28
	Tarde	FVA	58,3 \pm 0,06	1,0	57,2	58,4	59,8	-0,54	0,19	0,16
		LPCV	59,3 \pm 0,06	1,2	57,4	59,5	60,4	-0,18	-0,74	<0,0001

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Q1 = primeiro quartil (25%); Q2 = segundo quartil (50%), ou mediana; Q3= terceiro quartil (75%); Max= valor máximo; K = curtose; Ass =assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

Na estação outono, os dois galpões se mostram adequados para o confinamento de vacas leiteiras, com média de 58,3 e 59,3 kJ.kg de ar seco para FVA e LPCV, no turno da tarde, respectivamente.

Os galpões freestall apresentaram coeficientes de variabilidade baixos ($CV < 12\%$), de acordo com Warrick & Nielsen (1980). No entanto, a maior variabilidade foi encontrada no freestall LPCV.

De acordo com o teste S-W ($\alpha = 0,05$), assumiu-se a normalidade para os dados de LPCV, no turno da manhã do outono, e de FVA, e no período da tarde do outono (Tabela 28). As medidas de dispersão de h, assim como observado para as variáveis Tbs e THI, indicam curvas de frequência do LPCV mais simétricas e “achatadas” que do FVA, que apresentou altos valores negativos de curtose e positivos de assimetria.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 29) mostram que a entalpia específica do ar apresentou dependência espacial nas duas instalações de confinamento.

Tabela 29. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a entalpia específica do ar (h) nos dois galpões freestall.

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R^2
FVA	Manhã	Primavera	Exp	0,107	1,496	56,5	93	0,62
		Verão	Exp	0,160	1,670	47,0	90	0,89
		Outono	Exp	0,049	0,445	38,6	89	0,85
	Tarde	Primavera	Exp	0,066	0,492	24,7	87	0,85
		Verão	Sph	0,130	0,360	19,9	64	0,52
		Outono	Gau	0,133	0,680	89,4	80	0,57
LPCV	Manhã	Primavera	Exp	0,050	0,305	50,0	84	0,94
		Verão	Gau	0,054	0,125	45,4	57	0,93
		Outono	Exp	0,013	0,119	36,2	89	0,96
	Tarde	Primavera	Gau	0,064	0,121	22,9	47	0,94
		Verão	Exp	0,031	0,195	27,7	84	0,97
		Outono	Sph	0,073	0,174	25,7	58	0,83

C_0 = efeito pepita; $(C_0 + C_1)$ = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100 - (C_0 / (C_0 + C_1)) * 100)$, $IDE < 25\%$ grau de dependência fraco, $25 < IDE < 75\%$ moderado, $IDE > 75\%$ forte; R^2 = coeficiente de determinação.

Os semivariogramas da entalpia, no freestall LPCV, foram ajustados pelos modelos gaussiano, exponencial e esférico, com R^2 variando de 0,83 a 0,97. No FVA, os semivariogramas se ajustaram aos mesmos modelos, mas com R^2 menores, entre 0,52 a 0,89.

No LPCV, os graus de dependência espacial foram moderados (57, 47 e 58%) e fortes (84, 89 e 84%), com os maiores alcances encontrados no período da manhã. No FVA, os graus de dependência foram fortes em todas as situações, com exceção do turno tarde do verão (IDE = 64%) com alcance variando entre 19,9 e 89,4 metros (Tabela 29).

A Figura 21 ilustra os mapas de krigagem para a entalpia específica do ar ($\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$) nos interiores dos galpões de confinamento, os quais se mostraram heterogêneos.

O FVA não apresenta um perfil de h definido ao longo da instalação, sendo os valores dependentes de fatores externos. Na Figura 21 (A), (E) e (I), observa-se que no turno da manhã, o freestall apresentou os maiores valores de h na direção leste, enquanto que no turno da tarde (Figura 21 (B) e (F)) os maiores valores estiveram concentrados na direção oeste. Este padrão também foi apresentado pelas variáveis T_{bs} e THI , sendo decorrente da posição do sol ao decorrer do dia.

De acordo com os mapas do galpão LPCV (Figura 21 (C), (D), (G), (H) (K) e (L)), percebe-se a existência de gradiente ao longo da instalação, onde os menores valores estão próximos às placas de resfriamento evaporativo, e os maiores valores estão na lateral próximas aos exaustores.

No turno da tarde, a amplitude da entalpia específica do ar foi maior no freestall LPCV comparado ao FVA, sendo a maior amplitude registrada no período térmico mais crítico, o turno da tarde do verão. No entanto, apesar da maior amplitude, o desconforto térmico foi menor no LPCV (67,5 a 73,2 $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$, Figura 21 (M)) que no freestall FVA (76,6 a 78,6 $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$, Figura 20 (J)).

De acordo com Cortez e Magalhães (1992) um bovino de 600 kg produz 850 kcal/h. Considerado que o LPCV confinava 320 vacas em lactação, pode se estipular uma produção de calor no interior dessa instalação de, em média, 272 mil kcal por hora. Desse modo, pressupõe-se que um o aumento de h ao longo do galpão é resultante da produção de calor dos animais confinados.

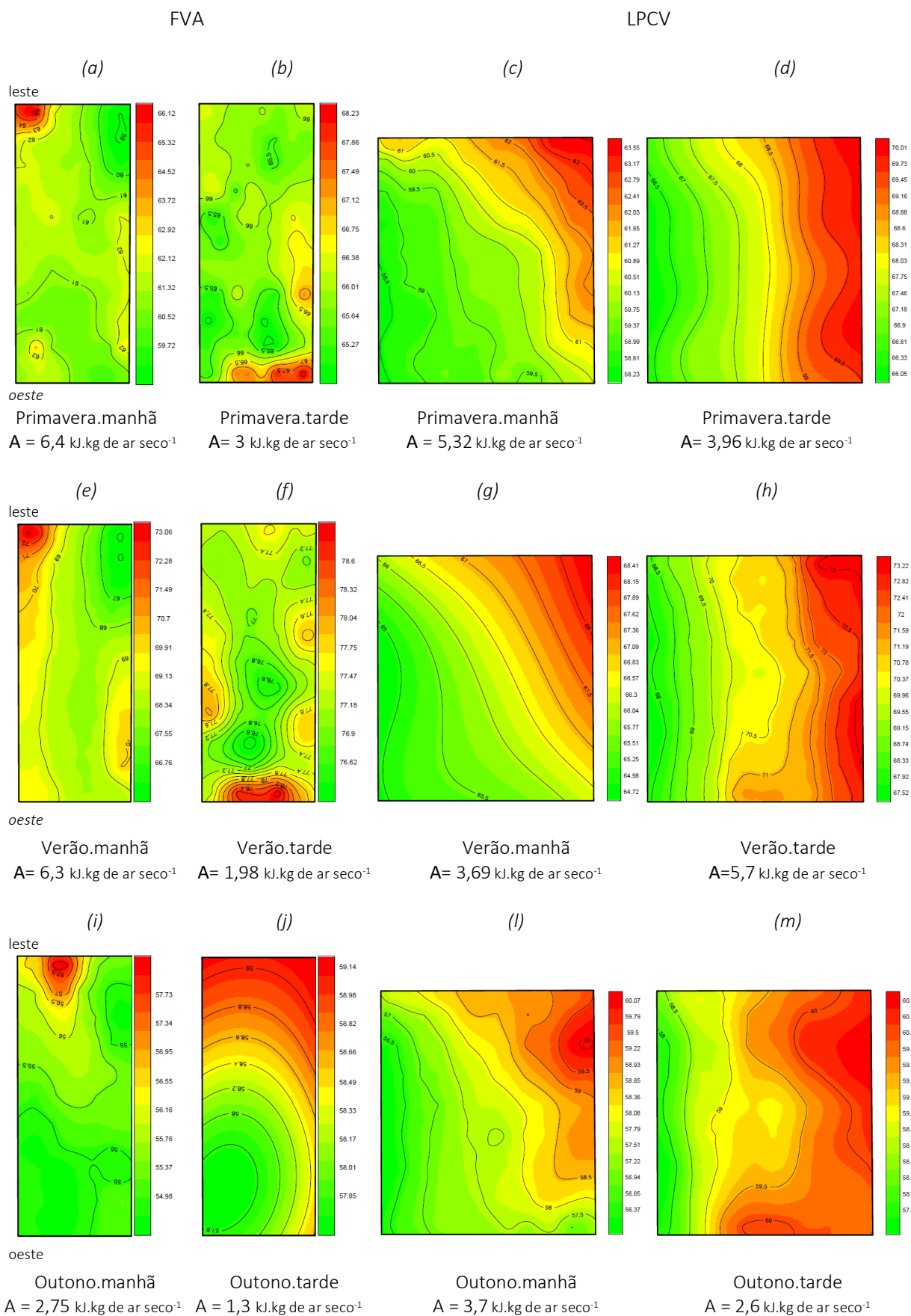


Figura 21. Mapas de krigagem para entalpia específica do ar nos dois galpões de confinamentos para vacas leiteiras, no turno da manhã e tarde, em cada estação. A = amplitude.

3.3.6. Nível de ruído

Phillips (2009) classificou o limiar para desconforto auditivo para vacas entre 90 e 100 dB, com dano físico ocorrendo em 110 dB. Algers & Jensen (1991), encontraram redução na produção de leite em vacas leiteiras expostas a pressão sonora de 80 a 100 dB durante 1,4h, duas vezes por dia. Estes resultados são similares aqueles apresentados por Kovalicik & Sottnik (1971) que não encontraram efeitos negativos em vacas sobre um nível de ruído de 80 dB. No entanto, a exposição imediata a um ruído de alta intensidade (105 dB) resultou em menor consumo de ração, produção de leite e intensidade de liberação de leite.

De acordo com as máximas, conforme apresentado na Tabela 30, a pressão sonora registrada nos galpões de confinamento não ultrapassaram as faixas de desconforto sonoro. Os resultados estão de acordo com Smith & Harner (2007), que registraram nível de ruído médio dentro de uma instalação LPCV menor que 65 db(A).

Tabela 30. Análise estatística descritiva da pressão sonora (dBA).

Estação	Turno	Galpão	Média ±EP	CV	Min	Mediana	Max	k	Ass	P-valor
VERÃO	Manhã	FVA	42,8 ±0,36	8,0	36	43	51	-0,80	-0,001	0,11
		LPCV	66,9 ±0,65	10,9	51	65	80	-0,95	0,22	0,0002
	Tarde	FVA	70,1 ±0,24	3,3	65	70	75	-0,90	-0,18	0,04
		LPCV	67,3 ±0,65	10,8	55	66	80	-1,06	0,21	<0,0001
OUTONO	Manhã	FVA	47,4 ±0,24	4,9	42	47	52	-0,38	-0,07	0,34
		LPCV	64,8 ±0,63	10,9	53	63	79	-0,97	0,43	<0,0001
	Tarde	FVA	67,1 ±0,35	4,9	58	67	74	-0,18	-0,45	0,14
		LPCV	65,1 ±0,56	9,7	55	64	76	-1,19	0,14	<0,0001

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Max= valor máximo; K=curtose; Ass=assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

Na tabela 30, observa-se que FVA apresentou médias menores que LPCV, no período da manhã, mas médias maiores no período da tarde. Este resultado é decorrente do fato que os ventiladores instalados no FVA eram acionados apenas no período da tarde.

Os coeficientes de variação mostraram baixa variabilidade para os galpões, sendo maiores no interior do freestall LPCV. Os resultados encontrados nesse

estudo foram semelhantes aqueles apresentados por Weeks et al. (2009) e Algers et al. (1978).

Somente o FVA apresentou normalidade dos dados para o teste S-W ($\alpha=0,05$), porém, os dois galpões de confinamento tiveram valores de assimetria e curtose negativos e próximos de zero.

A análise geoestatística mostrou que a pressão sonora apresentou dependência espacial com grau de dependência espacial forte para FVA, e grau de dependência moderado e forte para LPCV, conforme Tabela 31. Os modelos ajustados foram o gaussiano, exponencial, esférico, para as duas instalações. Os maiores alcances foram encontrados no FVA, com valores de 29, 28 e 27 metros.

Tabela 31. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para variável nível de ruído (Rd).

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R^2
FVA	Manhã	Verão	Gau	3,748	14,714	29,0	75	0,69
		Outono	Exp	0,625	5,667	18,5	89	0,60
	Tarde	Verão	Sph	0,555	4,993	28,2	89	0,93
		Outono	Sph	1,126	10,137	27,2	89	0,92
LPCV	Manhã	Verão	Gau	1,282	3,867	15,6	67	0,95
		Outono	Exp	0,414	3,650	26,3	89	0,96
	Tarde	Verão	Gau	0,765	2,507	16,5	69	0,98
		Outono	Sph	1,569	2,950	9,6	47	0,93

C_0 = efeito pepita; (C_0+C_1) = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100-(C_0/ C_0 + C_1)*100)$, IDE<25% grau de dependência fraco, 25<IDE<75% moderado, IDE>75% forte; R^2 = coeficiente de determinação.

A Figura 22 ilustra a distribuição e mapas de krigagem para a variável ruído (dBA) no interior dos galpões de confinamento para vacas leiteiras, os quais se mostraram heterogêneos.

Por meio da Figura 22 (a) e (e), turno da manhã, fica perceptível que não existe um padrão de concentração de pressão sonora, sendo os valores dependentes de fatores externos. Pode-se concluir que o local em que a área possui maiores níveis de ruído é aquele com maior concentração de animais no momento da avaliação. Na Figura 22 (b) e (f), turno da tarde, observa-se que os maiores valores de pressão sonora estão no centro do galpão, devido ao posicionamento dos ventiladores sobre a linha de cocho.

Na Figura 22 (c), (d), (g) e (h), observa-se um padrão no perfil de variabilidade espacial da pressão sonora, a qual aumenta da direita com valores

De acordo com Phillips (2009) e Kovalicik & Sottnik (1971) a pressão sonora de 80 dB(A) é o limiar de desconforto auditivo para vacas leiteiras, mas estudos de Algers & Jensen (1991) mostraram que vacas expostas a um ambiente com 80 a 100 dB durante um período de 2,8h por dia reduziram sua produção de leite. Na Figura 22 (D), observa-se que a uma estreita faixa próxima aos exaustores com valores de 81 dB. Uma vez que os exaustores são mantidos ligados por um período muito maior que 2,8h por dia, pode ser que os animais confinados nessa região sofram algum efeito da pressão sonora.

3.3.7. Iluminância

A iluminação é um fator ambiental de muita importância no sistema de confinamento de vacas leiteiras, que se explorada adequadamente pode trazer rentabilidade ao produtor (DAHL, 2001). As lâmpadas devem ser posicionadas entre 3 a 4 metros, promovendo 16h de luz aos animais, com intensidade luminosa entre 100 e 200 lux (PETERS et al., 1978; DAHL, 2001; ASAE, 2003).

De acordo com a Tabela 32, a intensidade luminosa registrada no galpão FVA ultrapassou as faixas recomendadas, enquanto que o LPCV ficou abaixo desta faixa. Faria et al. (2008) registrou médias de luminosidade variando de 350 a 1000 lux em galpões com sistema freestall. Endres et al. (2011) encontraram intensidade de 929 lux para galpão “compost barn”, 118 lux para freestall LPCV e 430 lux para freestall naturalmente ventilado.

Tabela 32. Análise estatística descritiva do nível de luminosidade (lux).

Estação	Turno	Galpão	Média ±EP	CV	Min	Mediana	Max	k	Ass	P-valor
VERÃO	Manhã	FVA	2135±366	161	171	680	19,272	8,4	2,79	<.0001
		LPCV	36,7±1,8	59	6,9	32,6	103,8	0,5	0,9	<.0001
	Tarde	FVA	1619±217	126	171	822	8,842	4,5	2,3	<.0001
		LPCV	35,6±1,7	59,9	8,1	33	114	1,5	1,1	<.0001
OUTONO	Manhã	FVA	1274±232	170	107	468	11,931	14,2	3,6	<.0001
		LPCV	36,1±1,8	61,3	7,1	34,6	100,1	0,3	0,9	<.0001
	Tarde	FVA	2001±300	140	203	674	11.168	2,8	1,9	<.0001
		LPCV	36,4±1,9	62,7	6,1	34,4	104	0,6	1,0	<.0001

EP = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação (%); Min = valor mínimo; Max= valor máximo; K=curtose; Ass =assimetria, P-valor para o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$).

A iluminação de dia longo (16 h de luz com 114 a 207 lux) é recomendada para aumentar a produção de leite e ganho de peso em gado Holandês em 10 a 15% (Peters et al., 1978). Bernabucci et al. (2006) verificaram que vacas leiteiras lactantes expostas a um fotoperíodo de dia longo (16L:8E) apresentaram maiores níveis de prolactina e aumentaram a produção em 2,7 kg de leite por dia.

Na Tabela 32, observa-se que FVA apresentou médias maiores que 1000 lux, enquanto uma média de 36 lux foi registrada no LPCV.

Os coeficientes de variação mostraram alta variabilidade para os galpões, sendo maiores no interior do freestall FV A.

A análise geoestatística mostrou que a intensidade luminosa apresentou dependência espacial com grau de dependência espacial forte e moderado para FVA, e grau de dependência forte para LPCV, conforme Tabela 33. Os modelos ajustados foram o gaussiano e exponencial.

Tabela 33. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para variável nível de iluminância (L).

Galpão	Turno	Estação	Modelo	C_0	$(C_0 + C_1)$	Alcance (m)	IDE (%)	R^2
FVA	Manhã	Verão	Gau	0,475	1,619	35,5	71	0,54
		Outono	Gau	0,262	1,267	34,4	79	0,73
	Tarde	Verão	Exp	0,078	1,163	63,9	93	0,83
		Outono	Gau	0,894	1,579	24,1	43	0,25
LPCV	Manhã	Verão	Exp	0,046	0,416	20,6	89	0,27
		Outono	Exp	0,110	0,440	20,6	75	0,14
	Tarde	Verão	Exp	0,044	0,396	17,6	89	0,25
		Outono	Exp	0,120	0,450	23,5	73	0,14

C_0 = efeito pepita; (C_0+C^1) = patamar; IDE = índice de dependência espacial $(100-(C_0/ C_0 + C_1)*100)$, IDE<25% grau de dependência fraco, 25<IDE<75% moderado, IDE>75% forte; R^2 = coeficiente de determinação.

A Figura 23 ilustra a distribuição e mapas de krigagem para a variável luminosidade (lux) no interior dos galpões de confinamento para vacas leiteiras, os quais se mostraram heterogêneos.

As Figuras 23 (a) (b) (e) (f) mostram que o FVA teve uma enorme amplitude, e um padrão de concentração de maior intensidade luminosa na região anterior e posterior da instalação. Nas Figuras 23 (c) (d) (g) (h), observa-se pontos mais escuros enfileirados, estes pontos são justamente os pontos de lâmpadas dentro das seções de baias. Próxima ao painel evaporativo a intensidade luminosa dos pontos foi maior que na região próxima aos exaustores.

A amplitude do LPCV foi em média de 75 lux, mas apresentou região com nível de luminosidade próximo de zero. O sistema de iluminação artificial (19D:5N) constituído de lâmpadas brancas de 85W a 135W distribuídas ao longo de toda instalação, 16 lâmpadas por seção, não foi suficiente para manter o ambiente lúxico dentro do recomendado para vacas em lactação.

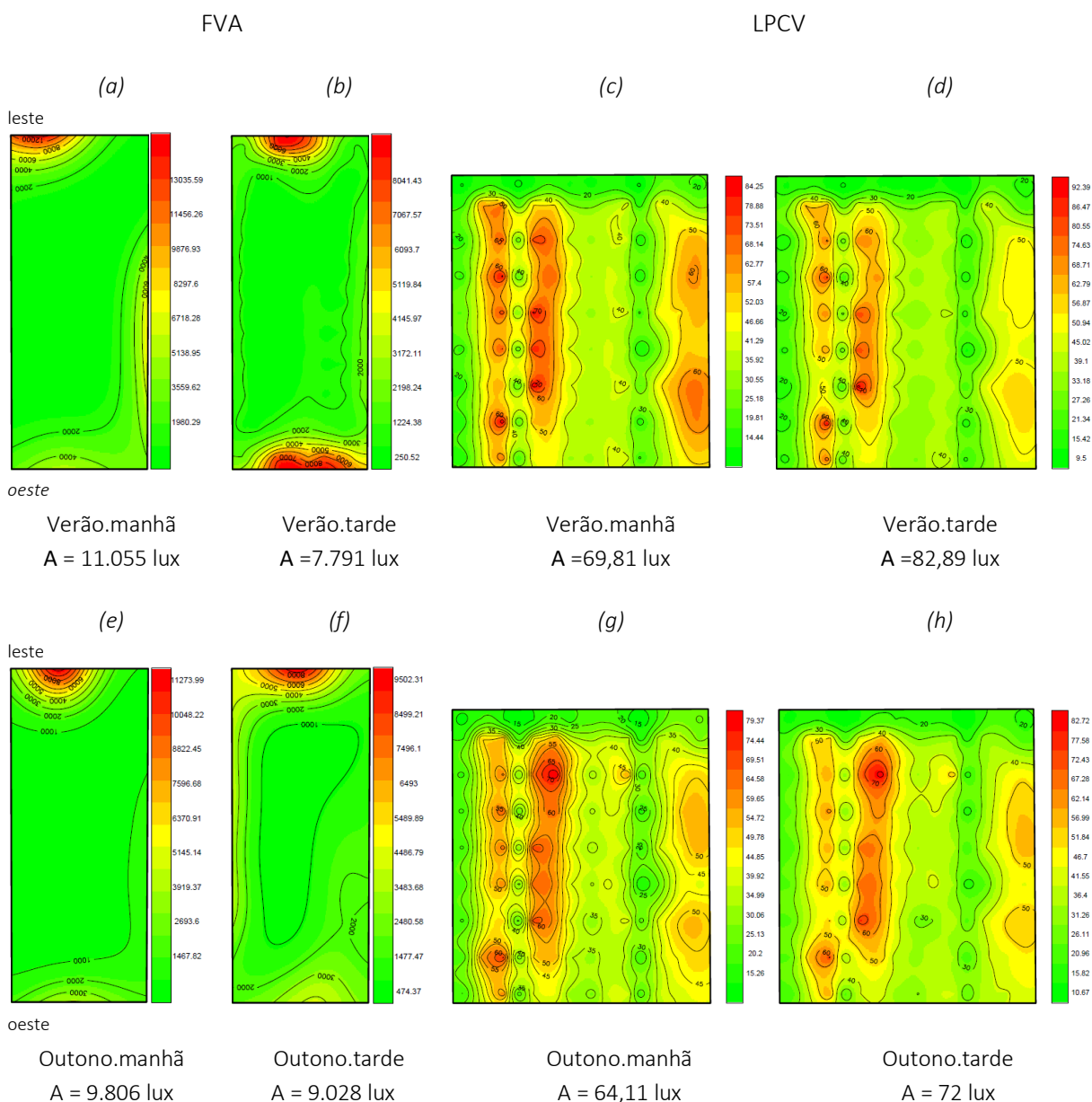


Figura 23. Mapas de krigagem para o nível de luminosidade nos dois galpões de confinamentos para vacas leiteiras, no turno da tarde, em cada estação. A = amplitude.

3.4. Conclusões Parciais

O galpão LPCV apresentou uma variabilidade espacial para as variáveis climáticas e ambientais. Em comparação com o FVA, a instalação LPCV mostrou menor variabilidade para as variáveis umidade, velocidade do vento e intensidade luminosa; porém, maior variabilidade para entalpia específica do ar e nível de ruído. No caso de temperatura do ar e THI, o LPCV apresentou maior variabilidade no período da tarde.

As variáveis no interior do LPCV apresentaram uma dispersão gradiente, no sentido longitudinal.

Apesar da variabilidade espacial no interior do LPCV, os valores de temperatura, velocidade do vento, THI e pressão sonora estiveram dentro das faixas consideradas confortáveis para vacas em lactação, porém, a umidade e entalpia específica do ar estiveram acima dos limiares, principalmente no verão. O nível de luminosidade esteve abaixo da faixa recomendada para vacas leiteiras.

Referências

- ALGERS, B.; JENSEN, P. 1991. Teat stimulation and milk production during early lactation in sows: effects of continuous noise. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 71, n. 1, p. 51-60.
- ALMEIDA, G.L.P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G.A.P.; MORRIL, W.B.B. 2010. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 1337-1344.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, n. 6, p. 711-728.
- ANDRIOTTI, J.L.S. 2003. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo, Unisinos, 165p.
- AZEVEDO, M.; PIRES, M.F.A.; SATURNINO, H.M.; LANA, A.M.Q.; SAMPAIO, I.B.M.; MONTEIRO, J.B.N.; MORATO, L.E. 2005. Estimativa de Níveis Críticos Superiores do Índice de Temperatura e Umidade para Vacas Leiteiras 1/ 2, 3/ 4 e 7/ 8 Holandês-Zebu em Lactação. *R. Bras. Zootec.* 34 (6) 2000-2008.
- BERMAN, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.*, v. 83, p. 1377–1384.
- BETTINI, C. 2007. Conceitos básicos de geoestatística. *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, p. 193-234.
- BRODY, S.; RAGSDALE, A.C.; THOMPSON, H.J., WORSTELL, D.M., 1954. Environment physiology with special reference to domestic animals. XXV The effect of wind on milk production, feed and water consumption and body weight in dairy cattle. n.545, p.1-20.

- BUCKLIN, R.A; BRAY D.R. The american experience in dairy management in warm and hot climates. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE. Piracicaba, 1998. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 156 – 174.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58, 1501-1511.
- CARVALHO, T.M.R.; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M; SOUZA, G.S.; BUENO, L.G.F.; LIMA, K.A.O. 2012. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. Revista Brasileira Zootecnia, v. 41, n. 1, p. 194-202.
- CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. 1992. Introdução a Engenharia Agrícola. Campinas: Unicamp. 393.
- ENDRES, M; LOBECK, K; JANNI, K; GODDEN, S; FETROW, J. 2011. Barn Environment Study. Minnesota Dairy Health Conference. St. Paul. Minnesota. May 17-19, 2011.
- FARIA, F.F; MOURA, D.J.; SOUZA, Z.M.; MATARAZZO, S.V. 2008. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. Ciência Rural., v. 38, n. 9, p. 2498-2505.
- FERREIRA, D.J. Estatística básica. Lavas: Editora UFLA, 2005, 664p.
- GARCÍA, A.D.; ENDRES, M.I.; DÍAZ-ROYÓN, F. 2014. Cross-ventilated barns for dairy cows: new building design with cow comfort in mind. Proceedings Internacional Conference of Agricultural Engineering, July 6-10, Zurich. Disponível em: <http://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C00830001.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

- HANH, G.L. 1982. Compensatory performance in livestock: influence on environmental criteria. In: *Livestock Environment*, 2, 1982. Proceeding of the International Livestock Environment Symposium, 2, St. Joseph: ASAE, p.285-294.
- HARNER, J.P., J.F. SMITH, K. DHUYVETTER. 2009. Temperature changes in low profile cross ventilated dairy facilities. Paper no. 096770 in ASAE Annu. Int. Mtg., p. June 21-24, Reno, Nevada.
- HARNER, J.P.; SMITH, J.F. 2008. Low-profile cross-ventilated freestall facilities—A 2 year summary. In: *Proceeding of the 2008 High Plains Dairy Conference*. Albuquerque: High Plains Dairy Conference. p. 65-78.
- IGONO, M.O.; BJOTVEDT, G. SANFORD-CRANE, H.T. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36:77-87.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University Press. 561p.
- JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. (1962). Effects of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. *University of Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin*, 791.
- JOHNSON, H.D.; VANJONACK, W.J. 1976. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *Journal of Dairy Science*, v. 59, n. 9, p. 1603-1617.
- MAIA, A.S.C.; DA SILVA, R.G; LOUREIRO, C.M.B. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* v. 50, p. 17–22.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. 1986. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal Soil Science*, Oxford, v.37, n.3, p.617-639.

MENDES, M.; PALA, A. 2003. Type I error rate and power of three normality tests. *Pakistan Journal of Information and Technology*, v. 2, n. 2, p. 135-139.

MIRAGLIOTTA, M.Y., NÄÄS, I.A., MANZIONE, R.L., NASCIMENTO, F.F. 2006. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. *Scientia Agricola*, v. 63, n. 5, p. 426-432.

NÄÄS, I.A. Princípios de conforto térmico na produção animal. 1989. São Paulo: ed. Ícone. 183.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D.J. 2006. 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.

RAZALI, N.M.; WAH, Y.B. 2010. Power comparisons of some selected normality tests. In: *Regional Conference on Statistical Sciences, Malaysia*. p. 126-138.

RIBEIRO JR, P.J.; DIGGLE, P.J. 2001. geoR: a package for geostatistical analysis. *R news*, v. 1, n. 2, p. 14-18.

RODRIGUES, V.C.; SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C.; NASCIMENTO, S.T. 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, v. 55, p. 455-459.

ROSEMBERG, L.G.; BIAD, B.L; VERNIS, S.B. 1983. Human and animal biometeorology. In: *Microclimate - the biological environment*. 2nd ed. New York: Wiley-Interscience, p. 425-67.

SILVA, I.M., PANDORFI, H., ALMEIDA, G.L.P., GUISELINI, C., CALDAS, A.M., JACOB, A.L. (2012). Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 8, p. 903-909.

- SMITH, J.F. E HARNER, J.P., 2007. Comprehensive evaluation of a low-profile cross-ventilated freestall barn. Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference, March 7-9, Reno, Nevada, p. 127-147. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2007/WDMC%202007.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- SMITH, J.F.; HARNER, J.P.; BRADFORD, B.J.; OVERTON, M.W. 2008. Oportunities with low profile cross ventilated freestall facilities. Dairy research. College of Veterinary Medicine. University of Georgia, Athens. p. 31-40.
- STOWELL, R R.; GOOCH, C.A.; INGLIS, S. 2001. Performance of tunnel ventilation for freestall dairy facilities as compared to natural ventilation with supplemental cooling fans. Livestock Environment VI, p. 29-40.
- TRANGMAR, B.B., YOST, R.S.; UEHARA, G. 1985. APPLICATION OF GEOSTATISTICS TO SPATIAL STUDIES OF SOIL PROPERTIES. Advances in Agronomy, v. 38, p. 45-94.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. 2000. In: NOVAIS, R. 346 F.; ALVAREZ, V.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: 347 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1-53.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.; NIELSEN, D.; BIGGAR, J. 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, Oakland, v.51, n.1, p.1-75.
- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. 1995. Spatial variability of rainfall erosivity for the State of São Paulo, Brazil. Bragantia, v. 54, n. 2, p. 405-412.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.). Applications of soil physics. New York : Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.
- WEST, J.W. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. Journal of Dairy Science, v. 86, n. 6, p. 2131-2144.

4. PONTOS CRÍTICOS ZOOTÉCNICOS E DE BEM-ESTAR DE BOVINOS LEITEIROS CRIADOS NO SISTEMA LPCV

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto da adoção do novo sistema de confinamento de vacas lactantes, freestall fechado com sistema de ventilação cruzada (LPCV), nos aspectos zootécnicos e de bem-estar dos animais. Realizaram-se avaliações individuais das vacas lactantes, em relação ao escore de limpeza corporal, de lesão de jarrete, de claudicação, além da taxa de frequência respiratória e presença de corrimento nasal. Selecionou-se, mensalmente, 60 vacas Holandesas. Os animais foram divididos de acordo com o número de lactações (primíparas, múltiparas) e dias em lactação (<70, entre 70 e 220, >220 dias), contabilizando dez animais em cada categoria. Para avaliar os índices zootécnicos, utilizou-se o registro de dados da propriedade leiteira dos últimos três anos de confinamento no FVA (2011-2013) e os primeiros três anos de confinamento no LPCV (2014-2016). Os dados coletados foram: média diária do leite, número de intervenções veterinárias para mastite, número de intervenções veterinárias para retenção de placenta, média de dias em aberto, média de intervalo entre partos e taxa de prenhez. Para avaliação das variáveis de bem-estar animal foi utilizado o teste qui-quadrado. A frequência respiratória foi comparada por meio de teste de Tukey. Para a verificação do efeito dos galpões de confinamento FVA e LPCV sobre os índices zootécnicos utilizou-se o teste t pareado. Concluiu-se que o novo sistema de confinamento de vacas lactantes (LPCV), obteve a seguinte avaliação para os pontos críticos de bem-estar animal: elevada incidência de lesões de jarrete de escore severo, baixa ocorrência de sujidade dos membros traseiros e úbere com escore igual e maior que 3, baixa presença de claudicação e corrimento nasal, e uma taxa de frequência respiratória dentro da faixa de conforto térmico. Com relação aos índices zootécnicos, verificou-se que após adoção do galpão LPCV a propriedade leiteira apresentou maior produção de leite e taxa de prenhez. Além disso, verificou-se que o número de ações veterinárias para tratamento de mastite e retenção de placenta diminuiu.

Palavras-chave: low-profile cross-ventilated; conforto térmico; vacas em lactação

4.1. Introdução

Os produtores de bovinos leiteiros têm buscado outras opções de sistemas de criação para melhorar o bem-estar e a produção de leite dos animais em regiões de clima quente. O sistema *Low-Profile Cross-Ventilation* (LPCV) para galpões freestall na bovinocultura leiteira têm sido uma das opções adotadas, devido ao

melhor controle do ambiente, menor distância entre as instalações, excelente qualidade do ar, maior renovação de ar, menor variação de temperatura, nenhuma ou limitada aspersão e controle da iluminação, etc (HARNER & SMITH, 2008; SMITH et al., 2008). Entretanto, os mesmos autores comentaram que esse sistema apresenta alto custo de investimento inicial, a viabilidade do sistema se dá a partir de 400 vacas, maior gasto de energia e água, etc.

O efeito do ambiente de criação sobre as vacas em lactação tem preocupado bastante os produtores de leite nas regiões quentes (clima tropical e subtropical), devido à presença de altas temperaturas do ar, umidade relativa e radiação solar (MARTELLO et al., 2010; TITTO et al., 2013). Para remediar esses problemas os produtores leiteiros têm investido em ambientes climatizados, com intuito de controlar os efeitos do clima no interior da instalação.

Bovinos leiteiros criados em uma instalação climatizada podem apresentar os parâmetros fisiológicos (frequência respiratória, temperatura de pelame e retal) dentro das faixas de conforto (RICCI et al., 2013; ALMEIDA et al., 2013; PERANO et al., 2015). Uma vez que a produção de vacas leiteiras é influenciada pelo fotoperíodo (DAHL et al., 2000; AUCHTUNG et al., 2005) e pelas condições climáticas (ALMEIDA et al., 2013; BERNABUCCI et al., 2014), o sistema LPCV surge com a promessa de contribuir de forma positiva, refletindo em maior produção de leite e melhor desempenho zootécnico (HARNER & SMITH, 2008; HOUSE, 2015).

Sendo assim, vale questionar se a utilização do galpão freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada é mais eficiente que o galpão freestall convencional para confinamento de vacas holandesas em lactação, em regiões de clima quente e úmido.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto da adoção do novo sistema de confinamento de vacas lactantes, freestall fechado com sistema de ventilação cruzada (LPCV), nos aspectos zootécnicos e de bem-estar dos animais.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Avaliação do nível de bem-estar animal (BEA)

A pesquisa foi realizada entre novembro de 2014 e junho de 2015. O galpão freestall estava localizado em uma propriedade leiteira comercial localizada no município de São Pedro, São Paulo, altitude de 580 m. O clima da região é do tipo Cwa da classificação Köppen, quente e úmido com estação chuvosa no verão e seco no inverno.

O freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada apresentou as seguintes características construtivas: orientação leste-oeste, 60 m de comprimento e 63 m de largura, totalmente fechado e teto isolado por forro de polietileno. A altura interna do galpão era de 4 metros, com presença de forro de polietileno, para isolamento térmico. O galpão apresentava quatro seções com 80 baias cada. Trezentos e vinte baias livres, cama composta por colchão sintético sob fina camada de areia e serragem, eram distribuídas uniformemente entre as quatro seções. O sistema de iluminação artificial (19D:5N) era constituído de lâmpadas brancas de 85W a 135W distribuídas ao longo de toda instalação, 16 lâmpadas por seção. O piso de concreto apresentava ranhuras de 2,5cm e espaçamento de 7cm. Quatro linhas de alimentação, com canzil, estavam localizadas nos corredores laterais e central. Seis bebedouros eram distribuídos uniformemente no interior do galpão. O manejo de dejetos era automatizado, por meio de raspadores a cabo.

O controle do ambiente interno era realizado por meio de 32 exaustores de três pás, equipados com motor trifásico de 1,5cv e 1730rpm, distribuídos por toda a lateral do galpão. Na lateral oposta, encontravam-se os painéis de resfriamento evaporativo constituídos de placas corrugadas de celulose. Nove defletores metálicos instalados longitudinalmente no interior do galpão promoviam o direcionamento do ar. O sistema dos painéis evaporativos funcionava com um volume de 20-50m³ de água por dia, e uma vazão de 15.000 l/h em circuito fechado.

O controle das variáveis climáticas no interior do galpão era realizado por meio de dois cabos termopares. O acionamento do sistema de climatização era iniciado (start) com as condições de 18°C de temperatura do ar e 85% de umidade relativa.

4.2.1.1. Seleção dos animais

Para avaliação do nível de bem-estar animal, selecionou-se, mensalmente, 60 vacas Holandesas confinadas em galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada (LPCV). Os animais foram divididos de acordo com o número de lactações (primíparas, multíparas) e dias em lactação (<70, entre 70 e 220, >220 dias), contabilizando dez animais em cada categoria, conforme Figura 24.

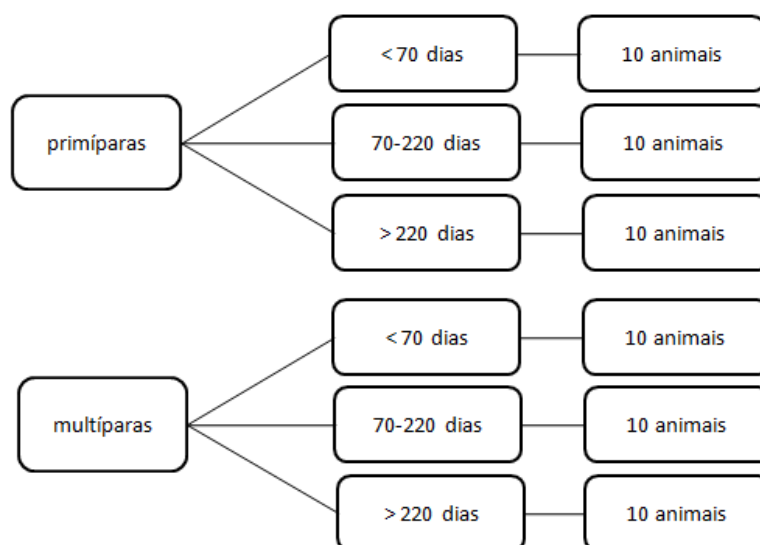


Figura 24. Seleção dos animais de acordo com o número de lactações (primíparas, multíparas) e dias em lactação (<70, entre 70 e 220, >220 dias). Mensalmente, 60 animais foram observados para mensuração de cada variável resposta.

4.2.1.2. Variáveis resposta para avaliar BEA

Realizaram-se avaliações individuais das vacas lactantes confinadas no galpão LPCV, em relação ao escore de limpeza corporal, de lesão de jarrete, de claudicação, além da taxa de frequência respiratória, presença de corrimento nasal e respiração dificultada (Figura 25).

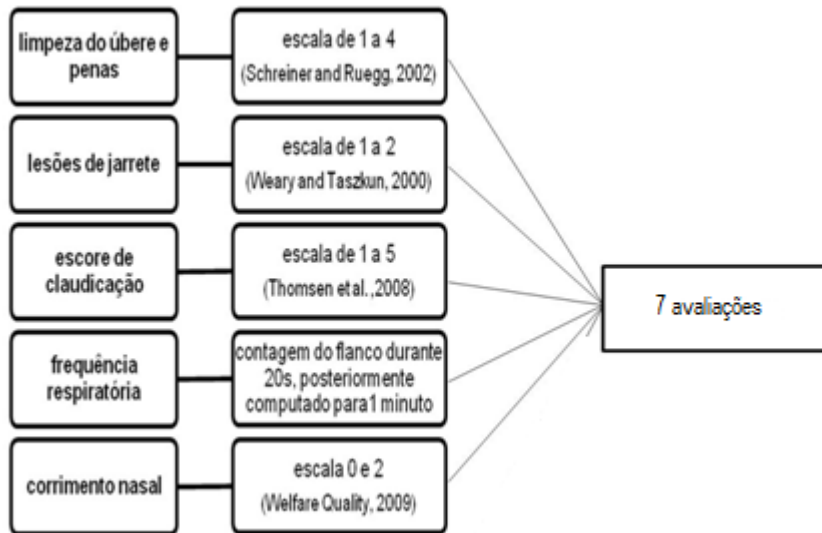


Figura 25. Variáveis resposta para avaliação dos pontos críticos em relação ao bem-estar de vacas lactantes confinadas em galpão freestall fechado com sistema de ventilação cruzada (LPCV).

A pontuação de limpeza do úbere e das pernas seguiu a metodologia proposta por (SCHREINER; RUEGG, 2002). As avaliações foram realizadas na sala de ordenha. Os úberes e pernas receberam uma pontuação baseada nos seguintes critérios: 1) completamente livres de sujeira ou tem muito pouco de sujeira; 2) um pouco sujo; 3) na maior parte coberto de sujeira; ou 4) totalmente coberto, endurecido na terra, de acordo com a Figura 26.

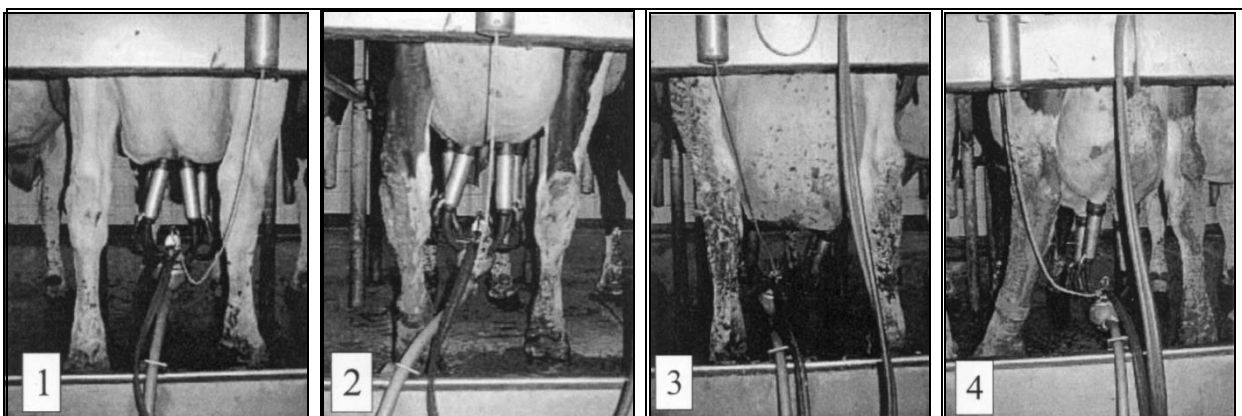


Figura 26. Escore de limpeza. Número da figura corresponde ao escore para úbere e membros: 1) completamente livres de sujeira ou tem muito pouco de sujeira; 2) pouco sujo; 3) na maior parte coberto de sujeira; ou 4) totalmente coberto, endurecido na terra. Fonte: Schreiner e Ruegg, 2002

Para avaliar a prevalência e severidade de lesões sobre os jarretes de vacas lactantes confinadas utilizou-se a metodologia proposta por (WEARY; TASZKUN, 2000). As lesões de pele sobre os jarretes das pernas traseiras foram pontuadas em cinco posições: nas superfícies lateral (2), medial (4) e dorsal (5) do túbero-calcâneo,

e nas superfícies lateral (1) e medial (3) da articulação do tarso, conforme Figura 27. Para cada região foi adotada a seguinte pontuação: escore 0 (sem evidência de qualquer tipo de lesão), escore 1 (área de perda de pelo inferior a 10 cm², com nenhuma evidência de ruptura da pele) ou escore 2 (pele quebrada, crosta escura, ou a área de perda de pelo maior do que 10 cm²). Observou-se, também, se toda a articulação tarsal estava inchada.

Os membros traseiros direito e esquerdo foram observados. Observou-se as lesões estão presentes em uma ou ambas as pernas, mas apenas a lesão mais severa em cada uma das cinco posições foi registrada (isto é, uma medida por vaca para cada uma das cinco posições). Se a lesão aparentar atributos inflamatórios, um escore de severidade será atribuído a essa região.



Figura 27. As lesões de pele sobre os jarretes das pernas traseiras foram pontuadas em cinco posições: nas superfícies lateral (1) e medial (3) da articulação do tarso, e na lateral (2), medial (4) e dorsal (5) do túbero-calcâneo. Escore de lesões do jarrete: 1 (área de perda de pelo inferior a 10 cm², com nenhuma evidência de ruptura da pele) ou 2 (pele quebrada, crosta escura, ou a área de perda de pelo maior do que 10 cm²).

As vacas foram avaliadas quanto ao seu estado de claudicação usando o sistema de locomoção com pontuação de cinco pontos, proposto por Sprecher et al. (1997) e adaptado por Thomsen et al. (2008), conforme o Tabela 34. Caso clínico de claudicação foi indicado por um escore maior que 3. A avaliação foi realizada no interior da instalação de confinamento, enquanto as vacas caminhavam sobre uma superfície plana.

Tabela 34. Pontuação da claudicação e critérios de avaliação dos animais.

Pontuação	Critério de avaliação
1.Normal	A vaca caminha normalmente. Na maioria dos casos, o lombo mantém-se plano, tanto quando a vaca está parada como a caminhar. Sem sinais de claudicação ou marcha irregular. Sem sinais de peso desigual entre os membros. Sem sinais de balanceamento da cabeça quando a vaca caminha.
2.Irregular	A vaca anda (quase) normalmente. Na maioria dos casos, o lombo mantém-se plano quando a vaca esta parada, mas arqueado ao caminhar. Sem sinais de balanceamento da cabeça ao caminhar. A marcha pode ser um pouco irregular e a vaca pode caminhar com passos curtos, mas não há sinais evidentes de claudicação.
3.Claudicação moderada	Marcha anormal com passos curtos em um ou mais membros. Na maioria dos casos, o lombo apresenta-se arqueado, tanto quando a vaca está parada como a caminhar. Na maioria dos casos, não há sinais de balanceamento da cabeça ao caminhar. Na maioria dos casos, um observador não será capaz de identificar o membro afetado.
4.Claudicação	A vaca está evidentemente claudicante, em um ou mais membros. Um observador será capaz de dizer, na maioria dos casos, qual dos membros se encontra afetado. Na maioria dos casos, o lombo revela-se arqueado, tanto quando a vaca está parada como a caminhar. Na maioria dos casos, o balanceamento da cabeça é evidente quando caminha.
5.Claudicação severa	A vaca está evidentemente claudicante em um ou mais membros. A vaca é incapaz, reticente, ou muito relutante em suportar peso sobre o membro afetado. Na maioria dos casos, o lombo revela-se arqueado, tanto quando a vaca está parada ou caminhando. Na maioria dos casos, o balanceamento da cabeça é evidente quanto caminha.

Fonte: Thomsen et al. (2008), adaptado de Sprecher et al. (1997).

A variável fisiológica frequência respiratória foi calculada pela contagem da movimentação do flanco do animal durante 20 segundos, sendo, posteriormente, computada para movimentos por minuto.

O corrimento nasal foi definido como fluído claramente visível das narinas, transparente a amarelo/verde. Os animais foram pontuados com respeito aos seguintes critérios: 0 – sem evidência de corrimento nasal, e 2 – evidência de corrimento nasal (WELFARE QUALITY, 2009).

4.2.2. Avaliação dos índices zootécnicos

O galpão LPCV começou a operar na fazenda leiteira em 2014, anteriormente a esse período o rebanho leiteiro era confinado em galpão freestall convencional (FVA), com laterais abertas e climatização por meio de aspersores e ventiladores.

Com o intuito de comparar os índices zootécnicos dos dois sistemas de confinamento, avaliaram-se os índices produtivos e zootécnicos do rebanho a partir dos registros dos últimos três anos de confinamento no FVA (2011-2013) e os primeiros três anos de confinamento no LPCV (2014-2016).

Os dados coletados foram: média diária do leite, número de intervenções veterinárias para mastite, número de intervenções veterinárias para retenção de placenta, média de dias em aberto, média de intervalo entre partos e taxa de prenhez (taxa de serviço x taxa de concepção).

4.2.3. Análise estatística

Para os dados de escore de corrimento nasal, respiração dificultada, claudicação, lesão de jarrete, e limpeza dos membros traseiros e úbere, realizou-se uma análise não paramétrica por meio do teste de qui-quadrado, considerando como fatores de estudo, a ordem de lactação (primípara e multípara) e o dia em lactação.

O teste foi aplicado para comprovar se a frequência observada diferia significativamente da frequência esperado, e verificar associação entre variáveis categóricas. Verificada a associação global entre as variáveis em 5% de significância, observou se havia associação local entre categorias, então, calcularam-se os resíduos padronizados que fornecem um escore de z para cada associação local.

Os dados de frequência respiratória foram submetidos a análise de variância pelo teste F e, quando significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste de comparações múltiplas de Tukey ($\alpha=0,05$).

Para avaliação dos índices produtivos e zootécnicos por 36 meses antes da intervenção e 36 meses após a intervenção. Adotou-se análises descritivas com relação a cada variável no período anterior e posterior a intervenção, e para a verificação do efeito da intervenção utilizou-se o teste t pareado, por índice avaliado.

4.3. Resultados e Discussão

Na Tabela 35 estão descritas as incidências de cada ponto crítico de bem-estar para vacas leiteiras em confinamento.

Tabela 35. Porcentagem de ocorrência para os pontos críticos de bem-estar em vacas leiteiras confinadas, durante o período avaliado.

Pontos críticos de BEA	Ausência (%)	Presença (%)
Lesão de jarrete	16,6	83,4
Pernas sujas	38,6	61,4
Úbere sujo	60	40
Claudicação	91,8	8,2
Corrimento nasal	97,9	2,1

Lobeck et al. (2011), na Dakota do Sul, encontraram prevalência de escore de lesão em LPCV de 31,2%, e 24% e 4% para freestall convencional e galpão “compost barn”, respectivamente. Fulwider et al. (2007) avaliaram a prevalência de lesões de jarrete para diferentes superfícies de cama e sistemas de confinamento. As vacas em galpões do tipo “compost barn” não tiveram lesões, enquanto que as vacas confinadas em freestall com camas de areia e colchões de borracha apresentaram 25% e 71%, respectivamente. Os mesmo autores verificaram que as vacas com maiores porcentagens de lesões apresentaram maior contagem de células somáticas, perdas por morte, claudicação e taxas de abate. O valor de incidência de 83,4% para a presença de lesão de jarrete (Tabela 35) indicou uma elevada incidência de lesões do rebanho avaliado. Endres et al. (2011) encontrou uma faixa de 2,2 a 82,7% e de 0 a 83% de vacas com lesões quando avaliou fazendas leiteiras na Dakota do Sul.

Para a variável limpeza do úbere e pernas traseiras, a Tabela 35 mostra que 61,4% e 40% dos animais apresentaram algum grau de sujidade nas pernas traseiras e no úbere, respectivamente. Os resultados estiveram acima dos valores encontrados por Paz (2012), que no sistema semi-intensivo registrou 40,5% dos animais sujos.

Bond (2010) observou a incidência de sujidade em 25 rebanhos em sistemas de confinamento e semiconfinamento, no estado do Paraná, e verificou que 78,8% dos animais com membros posteriores sujos, e 57,7% com úbere sujo. O mesmo autor relacionou a alta incidência de sujidade aos diferentes projetos de baias e materiais de cama utilizados.

Whay et al. (2003) apontaram a claudicação como o indicador mais significativo sobre o nível de bem-estar do gado leiteiro. Na América do Norte estima-se que aproximadamente 25% das vacas em lactação apresentam claudicação (ESPEJO et al. 2006). Segundo Broom e Fraser (2010), a ocorrência de

algum grau de claudicação é de 35 a 56% das vacas por ano nos EUA e de 59,5% no Reino Unido. Ito et al. (2010), avaliando 28 galpões freestall, encontraram uma incidência de 28,5% de vacas com claudicação, sendo 7,3% em condição severa. No Brasil, não existe estimativa em nível nacional, mas estudos regionalizados indicam que a claudicação é ponto crítico no rebanho brasileiro. Bond (2010), através da avaliação de 25 fazendas, no estado do Paraná, registrou uma incidência de 78%.

A claudicação não é apenas um problema de bem-estar animal, mas um fator que acarreta grandes perdas econômicas devido ao aumento dos custos de tratamento (ENTING et al., 1997), redução da produção de leite (WARNICK et al., 2001), redução da fertilidade (MELENDEZ et al., 2003) e aumento do risco de abate. De acordo com a Tabela 35, em comparação com as incidências apresentadas pelos autores acima, a prevalência de 8,2% de animais com algum grau de claudicação foi considerada dentro de um objetivo realista para programas de controle, numa produção intensiva (RUSHEN et al., 2009). Lobeck et al. (2011) encontrou uma ocorrência de claudicação de 4,4% no galpão “compost barn”, 13% no LPCV e de 16% no freestall convencional.

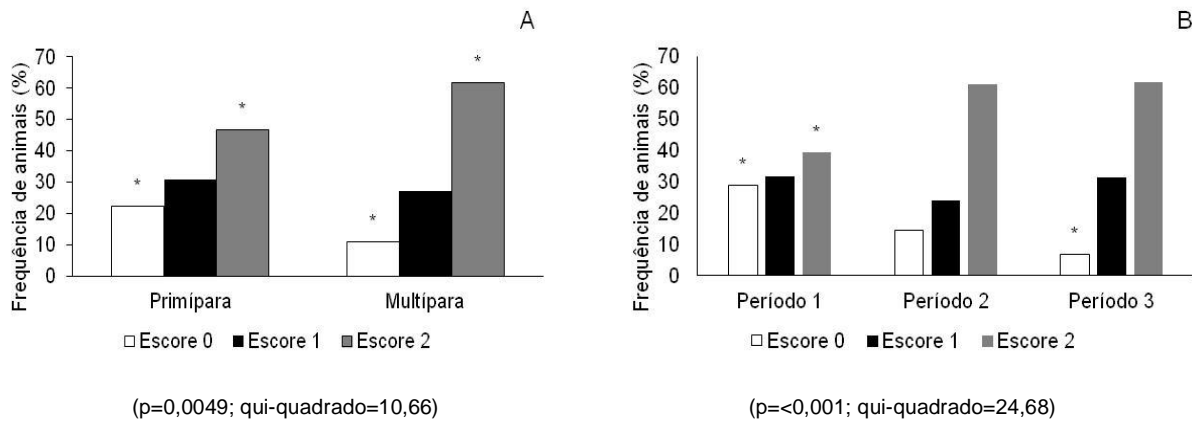
O protocolo Welfare Quality (2009) classificou como situação de alerta para o corrimento nasal, quando 5% das vacas confinadas no freestall apresentam o sintoma. Assim, a porcentagem de 2,1% foi dentro do recomendado (Tabela 35).

Na figura 28 estão os resultados para os dados de escore de lesão de jarrete, limpeza dos membros traseiros e úbere, claudicação e corrimento nasal, que considerou como fatores de estudo, a ordem de lactação (primípara e múltipara) e o dia em lactação.

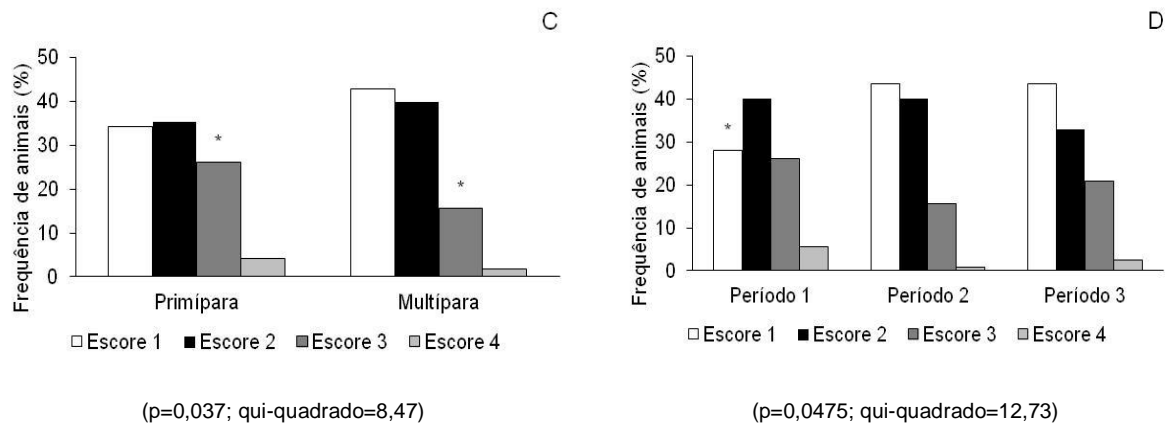
Houve efeito da ordem de lactação (Figura 28 A), a presença de lesões foi maior nas vacas múltiparas (61,8%) em comparação com as primíparas (46,6%). Houve efeito do período 1 (<70dias) na incidência de vacas que apresentaram escore 0 (sem lesão) e 2 (lesão severa), conforme Figura 28 B. No período 1, a ausência de lesão foi significativamente maior em relação aos demais períodos. A porcentagem de vacas com lesão aumentou em torno de 54%, a partir do segundo período, ou seja, a partir de 70 dias de confinamento. As avaliações destes resultados apontaram que houve efeito da instalação sobre as lesões de jarretes, uma vez que a porcentagem aumenta à medida que aumento os dias de

confinamento. Outro indicio é a porcentagem de 46% de lesões em primíparas, que teoricamente adentram ao LPCV sem quaisquer injurias no jarrete.

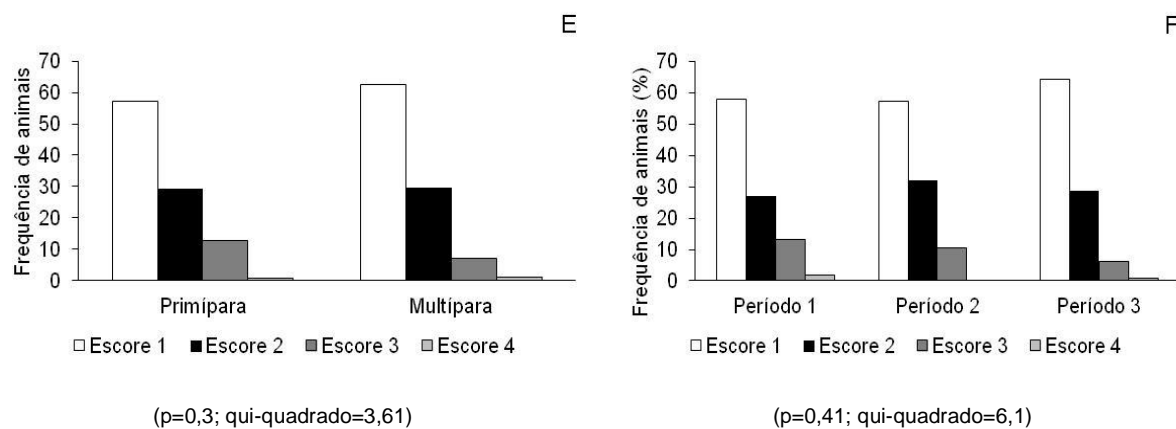
Escore de lesão de jarrete



Escore de sujidade de pernas traseiras



Escore de sujidade de úbere



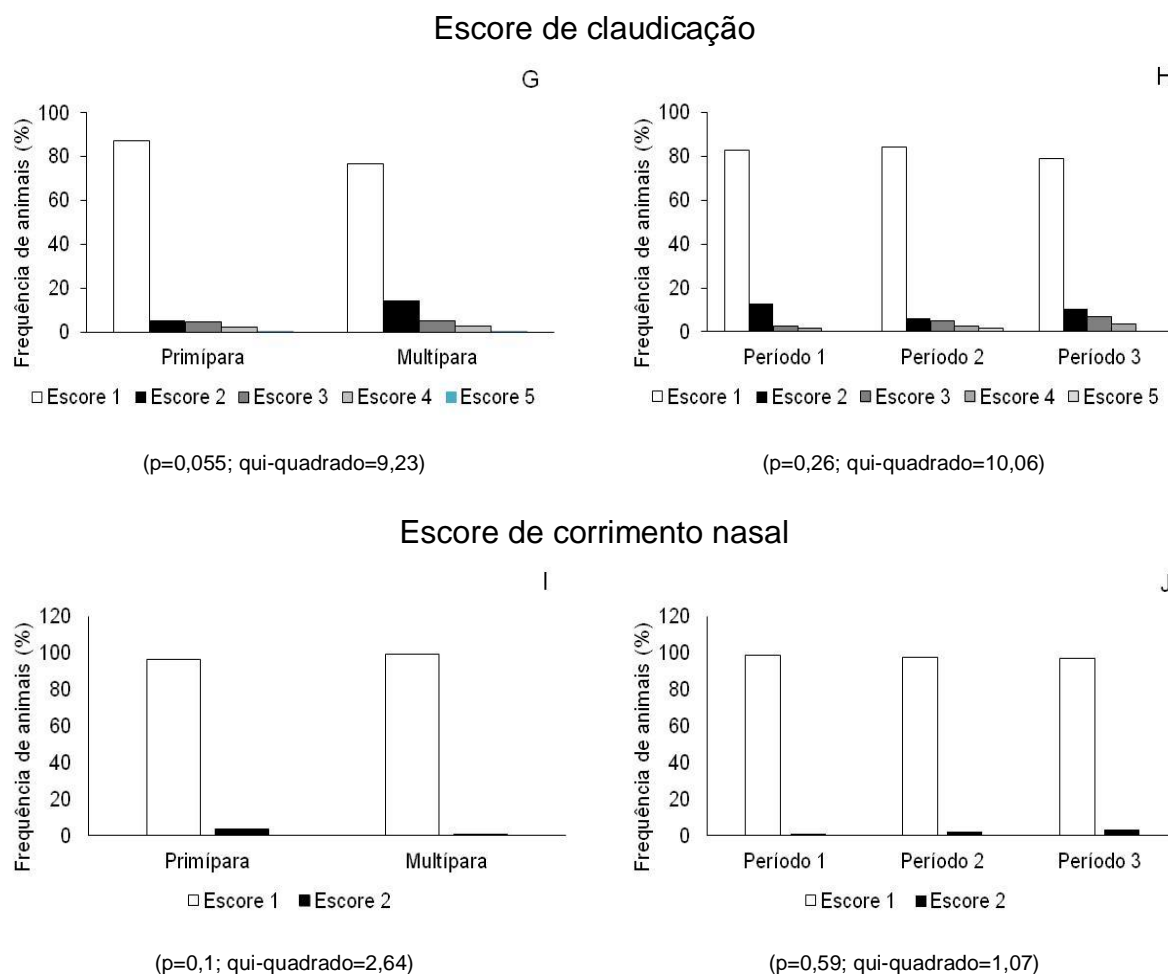


Figura 28. Porcentagem de vacas leiteiras para cada escore. Lesão de jarrete para ordem de lactação (A) e para dias em lactação (B); escore de sujidade (pernas traseiras) para ordem de lactação (C) e para dias em lactação (D); escore de sujidade (úbere) para ordem de lactação (E) e para dias em lactação (F); escore de claudicação para ordem de lactação (G) e para dias em lactação (H); escore de corrimento nasal para ordem de lactação (I) e para dias em lactação (J). Período 1 (<70dias), período 2 (70<dias<220), período 3 (>220 dias).*valores significativos baseados na análise do resíduo.

Referente ao escore de sujidade dos membros traseiros, houve efeito do escore 3 (na maior parte coberto de sujeira) para a ordem de lactação, e do escore 1 (completamente livres de sujeira) para o período da lactação. As vacas primíparas tiveram maior incidência de sujidade que as vacas múltiparas (26,2% vs. 15,6, respectivamente). Além disso, observou-se que à medida que aumentou os dias em lactação, aumentou a porcentagem de vacas limpas, alcançando 43% dos animais. O fator adaptação das primíparas ao ambiente de confinamento pode explicar a alta sujidade destas, e o aumento de vacas limpas conforme aumenta o dia em lactação.

Não houve efeito de ordem e período de lactação para a sujidade do úbere, escore de claudicação e corrimento nasal, conforme Figura 28 E, F, G, H, I e J.

Para o escore de locomoção, não houve efeito para a ordem e período de lactação (Figura 28 G e H). A incidência de escore 1, no qual a vaca caminha normalmente, atingiu 87,3% para primíparas e 76,6% para multíparas. A ocorrência de claudicação (escore >3) no rebanho foi de 8,1%, com grau de severidade para escore 3 de 4,9%; escore 4 de 2,6%, e escore 5 de 0,57%. Endres et al.(2011) não encontrou diferenças entre sistemas de confinamento para presença de claudicação severa. Ocorrência de claudicação severa foi de 2,2% em freestall LPCV.

Na figura 29 estão apresentadas as médias de frequência respiratória das vacas confinadas no LPCV, consideram a ordem de lactação e dias em lactação. As médias das primíparas (49,9 mov/min) não diferiram significativamente das médias das multíparas (48,2 mov/min). Mas, houve diferença quando comparado o período de lactação, o segundo período que compreende de 70 a 220 dias apresentou a maior média comparado aos períodos 1 e 2.

Lobeck et al. (2011) mostraram que as taxas respiratórias foram numericamente menores no LPCV durante a estação verão comparado com galpão “compost barn” e o freestall convencional.

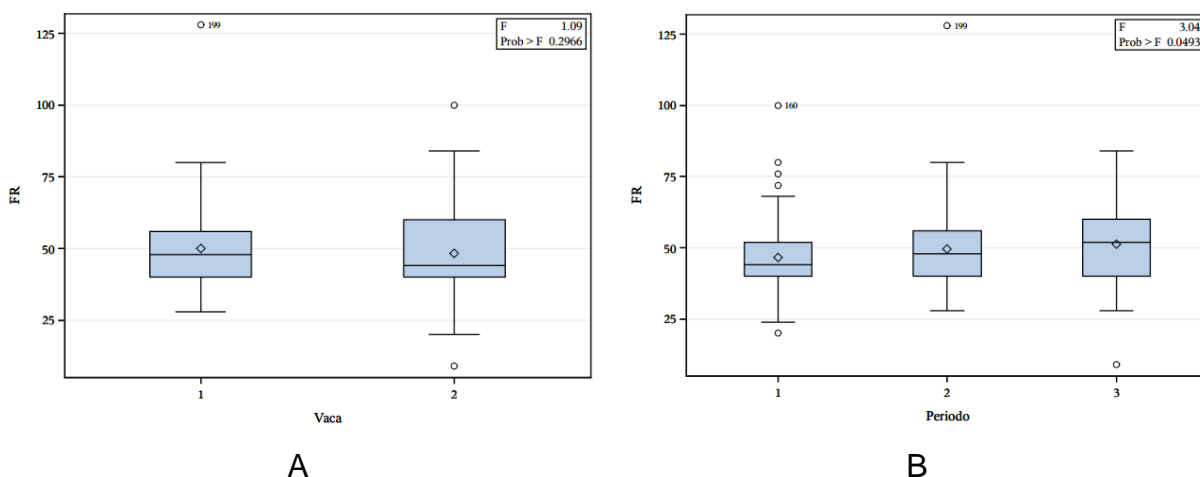


Figura 29. Frequência respiratória para ordem de lactação (A) e dias em lactação (B). Comparação de média a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Eingenberg et al. (2000) encontraram forte correlação ($R=0,77$) entre temperatura ambiente e frequência respiratória. As médias de frequência respiratória das vacas leiteiras, independente da ordem e período de lactação, estiveram dentro

da faixa de 60 mov/min, na qual o animal está em conforto térmico, de acordo com Pires e Campos (2004), Berman (2005) e Perissinoto e Moura (2007).

Lobeck et al. (2011) compararam um freestall LPCV e um galpão “compost barn” por meio do índice de conforto de vacas (proporção de vacas deitadas nas baias dividido por todos animais tocando uma baia) e o índice de uso de baias (proporção de vacas deitadas dividida pelo número de todos os animais dentro da seção de confinamento não se alimentando). O LPCV obteve maior índice de conforto de vacas (85,9%) do que o freestall convencional (81,4%), e maior índice de uso de baias (76,8%) do que freestall convencional (71,5%).

Verifica-se na Tabela 36 que houve diferença estatística entre os freestall FVA e LPCV sobre a resposta aos índices zootécnicos: média diária de leite, número de ações (mastite), número de ações (retenção de placenta) e taxa de prenhez. Essas diferenças podem ter sido influenciadas pela condição térmica dos freestall e melhor controle de doença. Entretanto, não houve diferença estatística significativa entre os freestall FVA e LPCV para os índices zootécnicos média dias abertos e média de intervalo de partos (dias).

Tabela 36. Índices zootécnicos registrados na fazenda comercial durante os anos de 2011-2013 (vacas confinadas no FVA) e 2014-2016 (vacas confinadas em LPCV).

Índices zootécnicos	FVA	LPCV	Teste T	p (%)
	2011-2013	2014-2016		
Média diária de leite (kg/dia)	32,9	36,1	3,2*	0,0001
N. de ações – Mastite	44,16	24,3	-19,8*	0,0001
N. de ações – Retenção de placenta	7,3	4,3	-3,0*	0,0045
Média dias abertos	185,1	130,5	-54,6 ^{NS}	0,1600
Média de intervalo de partos (dias)	420,9	410,5	-10,4 ^{NS}	0,0902
Taxa de prenhes (%)	19,8	24,9	5,1*	0,0016

Media do teste t a 5% de probabilidade de significância. * – significativo e NS – não significativo.

A maior média diária de leite ocorreu no freestall LPCV com 36,1 kg/dia. Isso pode ser justificado pelas condições microclimáticas de freestall, pois o mesmo apresentava um sistema de climatização controlada e com temperatura de bulbo seco baixa, logo, esse apresentou menor índice de conforto (THI), quando comparada com o freestall FVA. Segundo Bernabucci et al. (2014) e Almeida et al. (2013) temperatura do ar alta causa diminuição da produção e dos componentes do

leite (gordura, lactose, proteína, ácido cítrico, cálcio e potássio. Vale ressaltar que quanto menor for o gasto de energia para manutenção dos bovinos, melhor será a produção de leite (PERISSINOTTO et al., 2007).

Também, essa maior produção de leite no freestall LPCV pode ter sido influenciada pela menor amplitude térmica diária e maior velocidade do vento sobre as vacas. Brody et al. (1954) e Shiao et al. (2011) verificaram que quanto menor a velocidade do vento, menor será a produção de leite e ingestão de alimento.

A maior média de mastite nas vacas ocorreu no freestall FVA, com 44,16 ações veterinárias. Isso pode ter sido influenciado por um menor controle térmico por parte do freestall FVA que sofre maior interferência das condições climáticas exteriores comparado ao sistema LPCV. Segundo Santos (2001), elevada temperatura do ar aumenta a possibilidade do aparecimento de mastite em vacas. Algumas pesquisas têm relatado que o freestall LPCV apresenta maior controle de doenças em relação aos demais (HARNER & SMITH, 2008; SMITH et al., 2008).

Com relação à retenção de placenta foi possível observar que o freestall FVA obteve a maior média com 7,3 animais. Esse ocorrido pode ter sido ocasionado pela falha no manejo, presença de mastite e estresse das vacas (OLSON, 1985; ELLIOT et al., 1968; PELIGRINO et al., 2008).

A maior taxa de prenhez ocorreu no freestall LPCV, apresentando 24,9% quando comparado com o freestall FVA. Isso pode ser atribuído a maior velocidade do vento, menores amplitudes térmicas e temperatura de bulbo seco no freestall LPCV. Conforme os autores Smith et al. (2008) o estresse por calor pode reduzir a libido, fertilidade e sobrevivência embrionária do gado leiteiro. Sabe-se que as condições climáticas acima da zona termoneutra de vaca leiteira diminuem a capacidade de dissipar o calor e resulta no aumento da temperatura corporal, sendo assim, as altas temperaturas corporais afetam negativamente a reprodução da fêmea e do macho (CHEBEL et al., 2004; TORRES-JÚNIOR et al., 2008; SMITH et al., 2008).

Existem inúmeros fatores que podem ter influenciado os índices zootécnicos, como: genética, nutrição, tipo de manejo e condições climáticas, entretanto, com base nos dados avaliados observou-se uma melhora desses índices quando os animais foram alocados para o freestall LPCV, demonstrando assim que este ambiente de confinamento propiciou aos animais um melhor ambiente, conforto térmico e área de descanso, etc.

Por meio dos resultados frequência respiratória, lesões, claudicação, sujidade, corrimento nasal e índices zootécnicos foram possíveis verificar que o freestall LPCV obteve um bom desempenho. Todavia, são necessárias outras pesquisas para um melhor aprimoramento e eficiência do feestall LPCV, pois tendo em vista, o alto custo de investimento.

4.4. Conclusões parciais

Concluiu-se que a adoção do novo sistema de confinamento de vacas lactantes, freestall fechado com sistema de ventilação cruzada (LPCV), obteve a seguinte avaliação para os pontos críticos de bem-estar animal: elevada incidência de lesões de jarrete de escore severo, baixa ocorrência de sujidade dos membros traseiros e úbere com escore igual e maior que 3, baixa presença de claudicação e corrimento nasal, e uma taxa de frequência respiratória dentro da faixa de conforto térmico.

Com relação aos índices zootécnicos, verificou-se que após adoção do galpão LPCV a propriedade leiteira apresentou maior produção de leite e taxa de prenhez. Além disso, verificou-se que o número de ações veterinárias para tratamento de mastite e retenção de placenta diminuiu.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.P.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S.B.; PEREIRA, D.F.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G.L. 2013. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17 (8) 892-899.
- AUCHTUNG, T.L.; RIUS, A.G.; KENDALL, P.E.; MCFADDEN, T.B.; DAHL, G.E. 2005. Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:121-127.
- BERMAN, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows, *J. Anim. Sci.* 2005. 83:1377–1384
- BERNABUCCI, U.; BIFFANI, S.; BUGGIOTTI, L.; VITALI, A.; LACETERA, N.; NARDONA, A. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97 (1) 471-486.
- BOND, G.B. Diagnóstico de bem-estar de bovinos leiteiros. 2010. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- BROOM, D.M.; FRASER, A.F. Comportamento e bem-estar de animais domésticos. 4 ed. Barueri: Manole, 2010. 438p.
- CHEBEL, R.C.; SANTOS, J. E. P.; REYNOLDS, P.P.; CERRI, R.L.; JUCHEM, S.O.; OVERTON, M. 2004. Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science.* 84:239-255.
- DAHL, G.E.; BUCHANAN, B.A.; TUCKER, H.A. 2000. Photoperiod effects on dairy cattle: A review. *J. Dairy Sci.* 83:885-893.

- ELLIOT, L.; McMAHON, K.J.; GIER, H.T.; MARIONG, G.B. 1968. Uterus of the cow after parturition: Bacterial content. *Am. Journal of Veterinary Research*. 29:77- 81.
- ENTING, H., D. KOOIJ, A. A. DIJKHUIZEN, R. B. M. HUIRNE, AND E. N. NOORDHUIZEN-STASSEN. 1997. Economic losses due to clinical lameness in dairy cattle. *Livestock Prod. Sci.* 49:259- 267.
- ESPEJO, L.A.; ENDRES, M.I.; SALFER, J.A. 2006. Prevalence of lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns in Minnesota. *J. Dairy Sci.*, 89, pp. 3052–3058.
- HAHN, G.L.; PARKHURST, A.M.; GAUGHAN, J.B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*, v.40, p.97-121, 1997.
- HARNER, J.P.; SMITH, J.F. 2008. Low-profile cross-ventilated freestall facilities – a 2 year summary. In: *Proceedings of the High Plains Dairy Conference*. 65-77. *Proceedings...* Lubbock: High Plains Dairy Conference.
- HOUSE, K.H. 2015. Dairy housing. *Factsheet*. 15 (15) 410-721.
- ITO, K; VON KEYSERLINGK, M.A; LEBLANC, S.J; WEARY, D.M. 2010. [Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows](#). *J Dairy Sci.*, 93 (8): 3553-60.
- MARTELLO, L.S.; SAVASTANO JUNIOR, H.; SILVA, S.L.; BALIEIRO, J.C.C. 201) Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. *International Journal of Biometeorology* 54:647–652.
- MELLENDEZ, P., J. BARTOLOME, L. ARCHBALD, A. DONOVAN. 2003. Association between lameness, ovarian cysts and fertility in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 59: 927-937.

- OLSON, J.D.; BALL, L.; MORTIMER, R.G. 1985. Therapy of postpartum uterine infections. *Bov. Proc.* 17:85- 88.
- PELIGRINO, R.C.; ANDRADE, L.R.M.; CARNEIRO, L.F. 2008. Retenção de placenta em vacas. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária.* 6 (10) 1-7.
- PERANO, K.M.; USACK, J.G.; ANGENENT, L.T.; GEBREMEDHIN, K.G. 2015. Production and physiological responses of heat-stressed lactating dairy cattle to conductive cooling. *Journal of Dairy Science* 98:5252–5261.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D.J. 2007.DETERMINAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE VACAS LEITEIRAS UTILIZANDO A MINERAÇÃO DE DADOS. BioEng. Campinas, 1(2):117-126.*
- PIRES, M. F. A.; CAMPOS, A. T. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite, EMBRAPA, Juiz de Fora, MG, p. 1-6. Dez 2004.
- RICCI, G.D.; ORSI, A.M.; DOMINGUES, P.F. 2013. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção das vacas de leite. *Revista de Medicina Veterinária e Zootecnia* 20 (3) 9-18.
- RUSHEN, J., WEARY, D.M., SMID, V., PLAIZIER, K., GIRARD, C., HALL, M. Code of practice for the care and handling of dairy cattle: Review of scientific research on priority issues. Vancouver: National Farm Animal Care Council, 2009. 83.
- SANTOS, M.V. 2001. A estação do ano e o estresse térmico influenciam a CCS dos rebanhos leiteiros?. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/qualidade-do-leite/a-estacao-do-ano-e-o-estresse-termico-influenciam-a-ccs-dos-rebanhos-leiteiros-16198n.aspx>>. Acesso em: 21 mai 2017.
- SMITH, J.F.; HARNER, J.P.; BRADFORD, B.J.; OVERTON, M.W.; Oportunities with low profile cross ventilated freestall facilities. *Dairy research*, 2008. College of Veterinary Medicine, University of Georgia, Athens. 31-40.

- SPRECHER, D. J., D. E. HOSTETLER, AND J. B. KANNEENE. 1997. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology* 47:1179-1187.
- TITTO, C.G.; NEGRÃO, J.A.; TITTO, E.A.; TITTO, T.S.; PEREIRA, A.M. 2013. Effects of an evaporative cooling system on plasma cortisol, IGF-I, and milk production in dairy cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology* 57:299-306.
- TORRES-JÚNIOR, J.R.S.; PIRES, M.F.A.; SÁ, W.F.; FERREIRA, A.M.; VIANNA, J.H.M.; CAMARGO, L.S.A.; RAMOS, A.A.; FOLHADELLA I.M.; POLISSENI, J.; FREITAS, C.; CLEMENTE, C.A.A.; SÁ FILHO, M.F.; PAULA-LOPES, F.F.; BARUSELLI, P. S. 2008. Effect of maternal heat-stress on follicular growth and oocyte competence in *Bos indicus* cattle. *Theriogenology*. 69:155-166.
- W. K. FULWIDER, T. GRANDIN, D. J. GARRICK, T. E. ENGLE, W. D. LAMM, N. L. DALSTED, B. E. ROLLIN. 2007. Influence of Freestall Base on Tarsal Joint Lesions and Hygiene in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:3559–3566
- WARNICK, L. D., D. JANSSEN, C. L. GUARD, AND Y. T. GRÖHN. 2001. The effect of lameness on milk production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 84:1988-1997.
- WELFARE QUALITY®. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands, 2009. 182p.

5. CONCLUSÃO GERAL

As análises mostraram que o galpão LPCV não conseguiu manter as variáveis microclimáticas dentro da zona de termoneutralidade durante todo o período experimental. No entanto, verificou-se que o LPCV promoveu um maior controle do microclima interno, registrando menores amplitudes e maior redução do tempo de exposição dos animais a condições térmicas estressantes, comparado ao galpão FVA.

Em relação à variabilidade espacial, verificou-se que houve uma dispersão gradiente das variáveis no sentido transversal do galpão LPCV, com exceção para iluminância e velocidade do vento. Mas, considerando o dimensionamento deste galpão (60 m de largura x 63 m de comprimento), este estudo concluiu que a variabilidade espacial das variáveis microclimáticas e físicas entre as seções próximas aos painéis evaporativos e aos exaustores foi baixa.

Os animais apresentaram um adequado nível de bem-estar animal, uma vez que as incidências de sujeira dos animais, de claudicação, de corrimento nasal, e a taxa de frequência respiratória foram dentro do recomendado.

Com relação aos índices zootécnicos, após adoção do galpão LPCV, a propriedade leiteira apresentou maior produtividade e taxa de prenhez, além de diminuir o número de ações veterinárias, como o tratamento de mastite e retenção de placenta.

Desse modo, conclui-se que a utilização do galpão freestall fechado com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada foi mais eficiente que o galpão freestall convencional para confinamento de vacas holandesas em lactação, nas condições ambientais estudadas, considerando as questões de controle das variáveis físicas do ambiente interno, de aspectos zootécnicos e de bem-estar animal.

Com o intuito de aprimorar este estudo, recomenda-se a realização de um estudo econômico para avaliar a viabilidade dessa nova tecnologia, e comparar com outros novos sistemas de confinamento que estão surgindo no mercado, como por exemplo o galpão “compost bar”.