



UDESC

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO OESTE - UDESC/OESTE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
COMPOST BARN:
DINÂMICA DE UTILIZAÇÃO
DA CAMA E BEM-ESTAR
ANIMAL

BEATRIZ DANIELI

CHAPECÓ, 2019

BEATRIZ DANIELI

COMPOST BARNs: DINÂMICA DE UTILIZAÇÃO DA CAMA E BEM-ESTAR ANIMAL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Ciência e Produção Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Zootecnia**

Orientadora: Ana Luiza Bachmann Schogor
Co-orientadora: Maria Luísa Appendino Nunes Zotti

Chapecó, SC, Brasil

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CEO/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Danieli, Beatriz
COMPOST BARNS: DINÂMICA DE UTILIZAÇÃO DA
CAMA E BEM-ESTAR ANIMAL / Beatriz Danieli. -- 2019.
107 p.

Orientadora: Ana Luiza Bachmann Schogor
Coorientadora: Maria Luísa Appendino Nunes Zotti
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Educação Superior do Oeste, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Chapecó, 2019.

1. Bovinocultura de leite. 2. Compostagem. 3. Sistema de
produção. 4. Welfare Quality. I. Schogor, Ana Luiza Bachmann . II.
Appendino Nunes Zotti, Maria Luísa . III. Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Educação Superior do Oeste, Programa
de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

**Universidade do Estado de Santa Catarina
UDESC Oeste
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**COMPOST BARN: DINÂMICA DE UTILIZAÇÃO DA CAMA E
BEM-ESTAR ANIMAL**

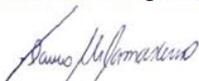
Elaborada por
Beatriz Danieli

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Zootecnia

Comissão Examinadora:



Prof^º. Dr^ª. Ana Luiza Bachmann Schogor/Orientadora (UDESC)



Prof^º. Dr^º. Flávio Alves Damasceno/Membro Externo PPGZOO (UFLA)



Prof^º. Dr^º. Frederico M. C. Vieira/Membro Externo PPGZOO (UTFPR)

Chapecó, 24 de julho de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde e por sempre iluminar a minha caminhada, principalmente nos momentos difíceis.

A minha família, em especial meus pais e minhas irmãs, por me ensinar a ser acima de tudo, honesta, confiante e ter respeito com os demais, princípios que considero fundamentais. Obrigado por estarem sempre ao meu lado.

A Profa. Dra. Ana Luiza Bachmann Schogor, por toda a confiança depositada, profissionalismo, amizade e suporte necessário.

Ao Profa. Dra. Maria Luísa Appendino Nunes Zotti pela orientação, amizade e suporte necessário.

Aos Professores Fabio José Gomes, Aline Zampar, Juliano Vitória Domingues, pela colaboração em análises estatísticas, produção de mapas e dados para o desenvolvimento da dissertação.

A Universidade do Estado de Santa Catarina, pela oportunidade da realização do Mestrado em Zootecnia.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pelos conhecimentos repassados.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ Processo Universal n. 428853/2016-1, pelo auxílio financeiro.

Às famílias de cada uma das fazendas visitadas durante o experimento, por permitirem a condução do experimento, pelo auxílio em qualquer dificuldade encontrada durante o período, atenção e acima de tudo o acolhimento. Vocês foram fundamentais para concretizar o objetivo deste trabalho.

Aos meus amigos, e colegas pela ajuda, companheirismos, conversas e momentos de descontração.

Aos bolsistas do Laboratório de Nutrição Animal da UDESC, em especial, Alice, Jardel, Maksuel e Renan, pelo auxílio na condução das atividades, o auxílio de vocês foi primordial.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade do Estado de Santa Catarina

COMPOST BARNs: DINÂMICA DE UTILIZAÇÃO DA CAMA E BEM-ESTAR ANIMAL

AUTOR: Beatriz Danieli
ORIENTADORA: Ana Luiza Bachmann Schogor
Chapecó, 24 de Julho de 2019

Objetivou-se avaliar se a dinâmica da compostagem e o bem-estar animal de vacas leiteiras alojadas em diferentes *compost barns* (CB) na região subtropical do Brasil durante o inverno e verão. Foram avaliados nove CB distribuídos em três grupos distintos entre si: convencionais de grande porte (G1), convencionais ou adaptados (G2) e CB de utilização parcial (G3) em duas estações do ano (inverno e verão). As avaliações foram realizadas no inverno de 2018 e no verão de 2019, por quatro dias consecutivos em cada propriedade. *In loco*, a dinâmica de compostagem foi avaliada por meio do monitoramento da temperatura de cama (registradas em sensores) e da umidade, ambas em profundidade, em oito pontos de coleta durante 24 horas (denominadas temperatura e umidade média); e em 20 pontos, durante o período diurno (denominadas temperatura e umidade diurnas). Com esta última amostragem, foi elaborada a distribuição espacial da temperatura e umidade das camas. Também foram avaliados o pH, a capacidade de retenção de água (W), densidade e as profundidades das camas, e sua composição mineral. O bem-estar animal foi averiguado por meio da aplicação do protocolo *Welfare Quality*[®] - Protocolo de Avaliação para Bovinos (WQ), além de avaliações do comportamento diurno dos animais. A temperatura média da cama foi maior no verão em relação ao inverno, considerando-se tanto os grupos, quanto cada propriedade avaliada ($P < 0,05$). Para a umidade da cama, foi observada interação entre grupos e estações do ano ($P < 0,05$), sendo que a umidade média foi menor no verão em relação ao inverno para o G1 e G2, porém no inverno não diferiu entre os grupos. A análise descritiva dos dados mostrou que a temperatura da cama acompanhou a temperatura do ar. Houve interação entre as estações do ano e grupos para a W, e para a porcentagem de retenção de cama nas peneiras de 9,50 mm e fundo ($P < 0,05$). Houve efeito da estação do ano sobre o pH das camas, o qual foi maior no verão. A frequência respiratória das vacas foi maior no verão em relação ao inverno ($P < 0,05$). Todavia, foi observada interação entre grupos e estações do ano para a temperatura de pelame dos animais. Na avaliação do bem-estar, nas duas estações do ano, as propriedades são igualmente classificadas como “melhoradas”, de acordo com o protocolo WQ[®]. As propriedades que utilizaram o sistema de *compost barn* em tempo parcial, foram melhores classificadas no princípio comportamento apropriado, sem que isso repercutisse em mudança na avaliação global do bem-estar animal. Ademais, o comportamento diurno dos animais mostrou-se satisfatório, mesmo que, no verão os animais do G3 se deitaram menos em relação ao inverno.

Palavras-chave: Bovinocultura de leite, Compostagem, Sistema de produção, *Welfare Quality*.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade do Estado de Santa Catarina

COMPOST BARNs: DYNAMICS OF BEDDED PACK USE AND ANIMAL WELFARE

AUTHOR: Beatriz Danieli
ADVISER: Ana Luiza Bachmann Schogor
Chapecó, July 24th, 2019

This study aimed to evaluate the composting dynamics and animal welfare of dairy cows housed in different Compost Bedded Pack Barns (CB) in the subtropical region of Brazil during winter and summer. Nine CB were evaluated in three groups: large conventional barns (G1), conventional and adapted barns (G2) and barns with partial use CB (G3), in two seasons of the year (winter and summer). The evaluations were conducted in winter 2018 and summer 2019, during four consecutive days in the dairy farms. *In loco*, the dynamics of compost was evaluated by monitoring the bedded pack temperature (recorded in sensors) and moisture, in eight collection spots for 24 hours (called mean temperature and moisture); and in 20 collection spots during the diurnal period (called diurnal temperature and moisture). With the last sampling, it was possible to create spatial distribution of the temperature and moisture for the bedded pack. The pH, water retention capacity (W), density and bedded pack depth, as well as mineral composition were also evaluated. Animal welfare was investigated by the application of the Welfare Quality® Protocol (WQ), as well as assessment of the diurnal behavior of the animals. The bedded pack mean temperature was higher in summer than in the winter, considering all groups and in each evaluated dairy farm ($P < 0.05$). Regarding bedded pack moisture, it was observed an interaction between groups and seasons ($P < 0.05$) and it was lower in summer compared with the winter for the G1 and G2, but during winter did not differ between groups. Descriptively, the bedded pack temperature followed the air temperature. There were interactions between the seasons of the year and groups for W, and for the percentage of bed retention in the 9.50 mm sieve and bottom ($P < 0.05$). There was seasonal effect on the pH of the bedded pack, and this was higher in the summer ($P < 0.05$). The respiratory rate of the cows was higher in summer than in winter ($P < 0.05$). However, there was an interaction between groups and seasons for the body surface temperature of the animals. In the welfare evaluation, for both climatic seasons, the dairy farms were classified as "enhanced" according to the WQ protocol. The dairy farms that used the barns with partial use Compost Bedded Pack Barns system were better classified on the appropriate behavior principle, without changing the overall assessment of animal welfare. Moreover, the diurnal behavior of the animals was satisfactory, even though in summer the animals of G3 lay down less than winter.

Key-words: Composting, Dairy cattle, Production system, Welfare Quality.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	10
1. REVISÃO DE LITERATURA	10
1.1. INTRODUÇÃO	10
1.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE REGIÕES SUBTROPICAIS E A BOVINOCULTURA DE LEITE	11
1.3. ASPECTOS FISIOLÓGICOS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	13
1.4. BEM-ESTAR DE BOVINOS LEITEIROS	15
1.5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA COMPOST BARN	18
1.6. PROCESSO DE COMPOSTAGEM E MANEJO DE CAMA.....	20
CAPÍTULO II	24
MANUSCRITOS	24
MANUSCRITO I.....	25
Dinâmica de compostagem e características ambientais de Compost Barns da região Subtropical do Brasil ¹	25
RESUMO	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	27
RESULTADOS	33
DISCUSSÃO	37
LITERATURA CITADA	47
MANUSCRITO II	65
Comportamento e bem-estar de vacas alojadas em sistema Compost Barn da região subtropical do Brasil ¹	65
INTRODUÇÃO.....	67
MATERIAL E MÉTODOS.....	67
RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
LITERATURA CITADA	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	93
ANEXO 1	102
ANEXO 2	103
ANEXO 3	104

ANEXO 4..... 105
ANEXO 5..... 106

CAPÍTULO I

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. INTRODUÇÃO

Devido à grande amplitude de temperatura climática na região Sul do Brasil, torna-se difícil encontrar sistemas de produção extensivos em perfeitas condições térmicas. Por sua vez, a adoção de sistemas intensivos de produção não pode garantir condições de conforto térmico, mas permite a implementação da instalação com técnicas de arrefecimento. Independente do sistema de produção adotado é imprescindível que a condição térmica não impactue em baixa produtividade ou prejuízos no bem-estar animal.

As condições de confinamento permitem a criação de um microclima específico para o alojamento de vacas leiteiras que pode ser controlado mais facilmente pelo gerente da propriedade. O confinamento permite a implementação da instalação com ventilação mecânica, aspersão e outras adequações construtivas (lanternim, pé-direito, material da cobertura ou orientação solar) da instalação para melhorar a condição térmica. No entanto, mesmo com a adoção destas tecnologias, um dos maiores desafios em sistemas confinados é a manutenção de um ambiente favorável que não seja influenciado pelas variações térmicas encontradas ao longo do ano.

Além do conforto térmico, existe uma preocupação global com relação ao bem-estar dos animais alojados em sistemas confinados. O sistema *Compot Barn* (CB) é uma das alternativas que vem de encontro ao fornecimento de conforto e longevidade das vacas (JANNI et al., 2007). Neste sistema é possível fornecer um espaço denominado “área de descanso” que é combinada à uma área de exercício (BLACK et al., 2013). Este é um dos quesitos que diferencia o CB de um sistema *freestall*. Este último, oferece a área de exercício anexa a uma área de descanso, ambas projetadas com piso de concreto. Ademais, o CB permite que as duas áreas combinadas sejam oferecidas em uma ampla área de cama (composta por material orgânico a ser decomposto) dimensionada para a quantidade específica de animais alojados.

O bem-estar dos animais alojados é geralmente monitorado por meio da verificação de indicadores. Já se tem conhecimento que o CB oferece mais liberdade de movimento dos animais alojados (BEWLEY e TARABA, 2009), baixa claudicação (BARBERG et al., 2007), menor ocorrência de mastite (BARBERG et al., 2007), e os animais se apresentam moderadamente sujos (FÁVERO et al., 2015). Estes indicadores avaliados individualmente

não são capazes de garantir um panorama global do bem-estar das vacas leiteiras. Neste sentido, é importante a aplicação de um protocolo que avalie globalmente a situação encontrada em cada uma das instalações para que as unidades sejam comparadas igualmente. Recentemente, Blanco-Penedo et al. (2019) compararam o bem-estar de vacas leiteiras alojadas em *freestall* e em CB em seis países europeus por meio da aplicação do protocolo Welfare Quality (WQ) e observaram que lesões e inchaços nos pés, claudicação e colisão com equipamentos contidos na instalação eram menos frequentes nas vacas alojadas em CB. No entanto, a análise de dados ainda está em andamento.

A maior preocupação do CB ainda é com relação às propriedades químicas, físicas e microbiológicas da cama, que, de modo geral se apresentam conforme a condução do sistema de compostagem. O processo de compostagem que acontece na cama consiste na ação de microrganismos aeróbicos (bactérias e fungos) e anaeróbicos sobre os materiais orgânicos transformando em compostos químicos, por consequência do processo, ocorre a liberação de calor, vapor de água e dióxido de carbono para o ambiente (DAMASCENO, 2012). Entretanto, alguns parâmetros da cama devem ser monitorados com o objetivo de minimizar as chances do aparecimento de problemas advindos do inadequado gerenciamento do sistema. Neste sentido, é recomendado que a temperatura da cama se mantenha no intervalo entre 43,3 a 65,0 °C, pois, este resultado indica que o sistema de compostagem está biologicamente ativo (JANNI et al., 2007; BEWLEY et al., 2013). Além disso, é importante que a cama se mantenha seca suficientemente (entre 45 e 55%) para promover as condições de compostagem aeróbica (LIANG et al., 2003; BEWLEY et al., 2013). Estas características não atendidas podem reduzir a longevidade do sistema.

Radaveli (2018) caracterizou 30 CB do Sul do Brasil e por meio de uma análise multivariada encontrou que 12 variáveis de manejo, características da cama e de construção das instalações definiram a formação de três grupos distintos. No entanto, o autor não avaliou a dinâmica de compostagem e o bem-estar global nos diferentes grupos. Neste sentido, objetivou-se avaliar se a dinâmica da compostagem e o bem-estar animal de vacas leiteiras são influenciados pelos diferentes sistemas CB em uma região subtropical do Brasil, durante o inverno e o verão.

1.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE REGIÕES SUBTROPICAIS E A BOVINOCULTURA DE LEITE

Conforme o IBGE (2016), o Brasil é um país que apresenta uma grande área territorial com 8.510.820,623 km². Ele é subdividido em cinco grandes regiões, as quais apresentam particularidades ambientais e climáticas. Do território nacional total, cerca de 7% é ocupado pela região Sul, compreendida pelos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Quando se trata da atividade leiteira, a região Sul merece destaque.

Em 2016 a região Sul do Brasil foi responsável por 37% da produção total brasileira de leite e se mantém líder no ranking nacional desde o ano de 2014. A produtividade média de leite no Brasil foi de 1.709 litros/vaca/ano em 2016, no entanto, os estados do Sul ocuparam as três primeiras posições em termos de produtividade. O estado do Rio Grande do Sul obteve o melhor indicador (3.157 litros/vaca/ano), seguido pelo Paraná (2.916 litros/vaca/ano) e pela Santa Catarina (2.787 litros/vaca/ano) (IBGE, 2016).

As características ambientais influenciam diretamente as respostas fisiológicas dos animais. Além disso, torna-se importante conhecer as características climáticas regionais, para assim, planejar estratégias de promover melhores condições de conforto térmico aos animais e melhorar os índices produtivos. Com a finalidade de qualificar o clima das regiões do Brasil e do mundo a classificação de Köppen-Geiger é a mais utilizada internacionalmente. A classificação baseia-se no pressuposto de que a vegetação natural de cada região é essencialmente uma expressão do clima. As regiões que geograficamente estão localizadas ao Sul do Trópico de Capricórnio e ao Norte do Trópico de Câncer apresentam a denominação de regiões subtropicais, como é o caso da maior porção do Sul brasileiro (WREGE et al., 2012).

De acordo com Wrege et al. (2012), o clima subtropical se caracteriza por apresentar temperaturas médias anuais entre 18 e 21 °C, com estações do ano bem definidas, invernos que podem apresentar temperaturas inferiores a 0 °C e verões quentes com mais de 30° C. Além disso, exibe precipitações bem distribuídas, que variam entre 1500 a 2000 mm por ano, o que confere alta umidade em todas as estações (aproximadamente 70 a 82% ao longo do ano). A região Oeste de Santa Catarina, a qual é compreendida como região alvo da pesquisa, possui estações climáticas adequadamente demarcadas, e de acordo com a classificação de Köppen, é classificada com o clima subtropical úmido (Cfa).

Devido aos atributos da região Sul serem de clima ameno e de alta umidade relativa do ar, as plantas são capazes de realizar fotossíntese em qualquer época do ano (ADAMS, 2007). Outros fatores associados ao manejo particular das propriedades leiteiras permitem a disponibilidade de alimento durante o ano todo.

1.3. ASPECTOS FISIOLÓGICOS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Todas as espécies possuem exigências climáticas ótimas que asseguram o crescimento e o desenvolvimento máximo, com especificidades para cada uma das raças. De forma geral, vacas em lactação são capazes de manter a homeotermia (39 °C) em intervalos de temperatura ambiente entre 5 e 25 °C (TAPKI e SAHIN, 2006; NASCIMENTO et al., 2013). Neste intervalo, a temperatura do corpo é constante e a homeotermia é mantida por trocas térmicas, tais como, respiração e sudorese. Mas, em situação de estresse térmico há dificuldade de eliminação do excesso de calor metabólico.

Atualmente, o estresse térmico tornou-se um dos principais desafios enfrentados pela indústria de laticínios (POLSKY e VON KEYSERLINGK, 2017). Temperaturas ambientes fora do intervalo adequado podem causar estresse térmico em vacas leiteiras, sobretudo para as de alto rendimento (HAHN, 1999). Nesta situação, existem prejuízos à saúde animal, produção de leite e reprodução (HAHN, 1999; NARDONE et al., 2010). Todavia, vários são os fatores que podem acentuar o efeito da condição térmica. Existem limites críticos toleráveis conhecidos em relação a temperatura ambiental para algumas raças, no entanto, a condição de umidade relativa do ar pode ser um fator decisivo na perda do calor corporal (MOURA et al., 2010; PILATTI et al., 2018). Isto se verifica sobretudo no Brasil, onde a temporada de verão é longa e se observa uma presença constante de energia solar radiante e alta umidade, resultando a dificuldade na perda de calor corporal (SCHÜLLER et al., 2014).

Diante da maior frequência de eventos extremos de calor ambiental, do aumento das temperaturas previstas para as próximas décadas e do contínuo avanço genético para a produção de leite, a gravidade dos problemas de estresse por calor se tornará mais um problema no futuro (BERNABUCCI et al., 2010; LAMP et al., 2015), sobretudo para aqueles que mantêm a produção em sistemas a pasto (BLACK e KRAWCZEL, 2016).

As mudanças na temperatura ambiente afetam a temperatura corporal, por meio do aumento da temperatura retal, a frequência respiratória, a temperatura superficial e ativam as respostas termorreguladoras para manter a termoestabilidade (KADZERE et al., 2002; VINHAL et al., 2017; PILATTI et al., 2018; PEIXOTO et al., 2019; MOTA et al., 2019).

Existem inúmeros índices utilizados para definir o estresse térmico em bovinos de leite, são exemplos deles o índice de carga térmica radiante e a entalpia específica do ar. No entanto, os mais comuns são denominados, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e índice de temperatura e umidade (ITU). Buffington et al. (1981) propuseram o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), baseado na temperatura de globo negro, a qual leva

em consideração a radiação solar e a ventilação. Por sua vez, o ITU é calculado a partir da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, mostrando-se menos preciso em mostrar a condição térmica em relação ao ITGU.

O ITU é um dos índices mais utilizados para mensurar as condições térmicas em que as vacas leiteiras estão impostas, no entanto, este índice não considera parâmetros como a velocidade do vento e a radiação solar direta ou indireta (ARIAS e MADER, 2010). De acordo com Bernabucci et al. (2010), vacas leiteiras, principalmente as da raça holandesa, impostas à ITU a partir de 68 se apresentam ofegantes, com elevada sudorese e temperatura retal aumentada. Também pode haver depressão grave no consumo de alimento e produção de leite, na tentativa de minimizar a produção de calor endógeno.

Black e Krawczel (2016) caracterizaram o efeito do ambiente climático em relação às variáveis representativas de estresse térmico por calor em dois grupos de vacas leiteiras. Um grupo foi mantido em sistema de pastejo com ITU de $59 \pm 14,1$ e o outro foi mantido em sistema confinado do tipo *freestall* com ITU de $62,6 \pm 12,2$. Como resultado, a taxa respiratória e a temperatura corporal aumentaram concomitante ao aumento do ITU para os dois sistemas. Foi observado que em condições térmicas de ITU em 71, a frequência respiratória foi de 35 mov min^{-1} para os animais em sistema de pastejo, e de 50 mov min^{-1} para os animais mantidos em *freestall*. Entretanto, quando as vacas foram manejadas em sistema confinado, as taxas foram menos acentuadas. As vacas do sistema *freestall* tinham acesso a sombra, ventiladores e aspersores, enquanto que, as vacas a pasto só tinham acesso a árvores localizadas no cercamento. Mesmo assim, o ITU médio foi maior em ambiente confinado quando comparado ao pasto. Diante deste resultado, ambos os sistemas oferecem vantagens e desvantagens durante os períodos de altas temperaturas, no entanto, o sistema mais adequado depende do seu gerenciamento.

Mota et al. (2019) identificaram que os índices de ITU e ITGU podem se comportar acima do aceitável mesmo em sistemas confinados como o CB, sobretudo no verão. Entretanto, é reconhecido que dentro de uma mesma instalação o conforto térmico pode variar de acordo com o quadrante ocupado. Oliveira et al. (2019) sugerem que condições térmicas inadequadas são encontradas em instalações providas apenas de ventilação natural. Para as instalações com ventilação mecânica, a variabilidade na distribuição espacial do ITU é menor. Em estudo realizado no Paraná, Brasil, Pilatti et al. (2018) observaram que os aspectos da ambiência no CB designados pela temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, e velocidade do vento oscilaram ao longo do dia. Durante os períodos mais quentes do dia (máximas até $35,9^\circ \text{ C}$ e ITU de 83) as vacas se aglomeraram em áreas com ventiladores. Esta

situação novamente sugere a dificuldade em atender às condições de conforto térmico oferecido às vacas leiteiras alojadas em CB no Brasil.

1.4. BEM-ESTAR DE BOVINOS LEITEIROS

Segundo vários autores (WEARY e TASZKUN, 2000; VAN GASTELEN et al., 2011; COOK et al., 2016; GRIMARD et al., 2019), o sistema de habitação é um fator que afeta a qualidade do bem-estar das vacas leiteiras, especialmente no que diz respeito à expressão de comportamento, sanidade e produção. Além disso, o bem-estar de bovinos de leite não é necessariamente escasso em sistemas de alojamento confinados, a sua qualidade depende das práticas de gestão associadas (POPESCU et al., 2013; COOK et al., 2016).

No Brasil, o bem-estar animal ainda é um conceito novo quando comparado às experiências da União Europeia. Ainda não existe uma legislação única, mas sim legislações de ordem Federal, Estadual e Municipal quanto ao cumprimento de regras de bem-estar no sistema de produção. No entanto, as recomendações quanto ao manejo humanitário, consciente, ético e respeitoso são essenciais para produtores que pretendem conquistar o mercado internacional (AMARAL et al., 2018).

O mercado consumidor tem buscado incessantemente produtos oriundos de sistemas de produção que cumpram com a execução das condições mínimas para criação e bem-estar, mesmo dentro das condições de criação de animais domesticados. Diante disso, algumas medidas, tais como a taxa de locomoção, lesão de jarrete (COOK et al., 2016), higiene e escores de condição corporal fornecem indicativos do bem-estar de vacas leiteiras (LOBECK et al., 2011; VASSEUR, 2017). Para expressar o status geral de bem-estar em um grupo de animais e em uma única pontuação ou índice, os indicadores devem ser integrados, o que requer interpretação e balanceamento (de GRAAF et al., 2017).

Com o objetivo de avaliar o bem-estar global de vacas leiteiras, vários manuais foram desenvolvidos para recomendar boas práticas de produção, tais como, o Guide to good animal welfare in dairy production (Food and Agriculture Organization e International Dairy Federation), o RSPA welfare standards for dairy cattle (Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals) e o Animal care standards (Humane Farm Animal Care). Estes manuais esclarecem os princípios de bem-estar animal para o setor produtivo, principalmente para o produtor rural. Em 2004, a Comissão Europeia iniciou um plano de ação, denominado Welfare Quality (WQ). Este protocolo é baseado nas cinco liberdades relatadas pela Farm Animal Welfare Council (FAWC, 1979). Este é o mais renomado e abrangente método para

avaliação geral do bem-estar de várias espécies animais (aves, suínos e bovinos). Ao contrário de outros protocolos de avaliação, o WQ baseia-se predominantemente em medidas baseadas em animais ou que reflitam o estado de desconforto deles. Estas medidas refletem predominantemente os fatores que oferecem prejuízos ao bem-estar, em vez de medir o bem-estar social (BLOKHUIS et al., 2010).

Em suma, o WQ descreve 27 medidas para vacas leiteiras (Tabela 1) que são subsequentemente integradas em um processo de 3 etapas para chegar a uma categoria de bem-estar geral do plantel avaliado. Em um primeiro momento, as 27 medidas são combinadas em escores para 12 critérios, numa escala de 0 (pior) a 100 (melhor), com base em vários métodos de agregação. Entretanto, a ausência de uma metodologia padrão que estime o conforto térmico faz com que sejam considerados apenas 11 critérios. Em segundo lugar, os critérios são integrados às pontuações de 4 princípios, usando integrais de Choquet. As pontuações podem variar de 0 (pior) a 100 (melhor). A terceira e última etapa revela a categoria geral de bem-estar geral. O bem-estar pode ser considerado “excelente” quando recebe pontuações acima de 50 para cada princípio e acima de 75 em 2 deles. Quando um rebanho recebe a pontuação maior do que 15 para cada princípio e maior de 50 para pelo menos 2 deles, é classificado como “melhorado”. Além disso, é considerado “aceitável” quando a pontuação for maior que 5 para todos os princípios e acima de 15 para pelo menos 3 princípios. Quando o rebanho recebe uma pontuação para os princípios abaixo dos limiares classificatórios para a categoria aceitável, são considerados “não classificados” (WELFARE QUALITY, 2009).

Tabela 1. Os princípios, critérios e as medidas do protocolo de avaliação Welfare Quality® para vacas leiteiras.

Princípios de bem-estar	Critérios de bem-estar	Medidas avaliadas
1. Boa alimentação	Ausência de fome prolongada	Porcentagem de vacas muito magras
	Ausência de sede prolongada	Disponibilidade e limpeza da água
2. Boa habitação	Conforto em torno de descansar	Tempo necessário para deitar; colisão com os equipamentos de habitação durante o movimento de deitar; animais que se encontram fora da área de repouso; limpeza (úberes, flanco/parte superior das pernas, parte inferior das pernas)
	Conforto térmico	Nenhuma medida
	Facilidade de movimento	Presença de amarras; acesso a área ao ar livre ou pasto
3. Boa saúde	Ausência de lesões	Laminite; alterações do tegumento
	Ausência de doença	Tosse; descarga nasal; descarga ocular; respiração dificultada; diarreia; descarga vulvar; contagem de células somáticas do leite; mortalidade; distorcia
	Ausência de dor induzida por manejo	Mutilações (descorna, ancoragem na cauda, uso de anestésicos ou analgésicos)
4. Comportamento apropriado	Expressão de comportamentos sociais	Incidência de comportamentos agonísticos (cabeçadas; deslocamentos; perseguição e combate)
	Expressão de outros comportamentos	Acesso ao pasto
	Boa relação homem-animal	Distância de esquiva no local de alimentação
	Estado emocional positivo	Avaliação comportamental qualitativa (ativo, relaxado, medroso, agitado, calma, contente, indiferente, frustrado, amistoso, entediado, brincalhão, positivamente ocupado, animado, inquisitivo, irritado, inquieto, sociável, apático, feliz, angustiado).

Fonte: Adaptado de Welfare Quality, 2009.

Em casos experimentais, sabe-se que existem associações entre o bem-estar, ou a falta dele, em relação à índices observados. Por exemplo, foram identificadas associações positivas entre o adequado bem-estar e o desempenho reprodutivo (GRIMARD et al., 2019). Além disso, foi descoberto que vacas alojadas em CB possuem claudicação e lesões reduzidas em relação àquelas mantidas em *freestall* (COSTA et al., 2017). Ainda, ao comparar vacas

alojadas em CB ou ao ar livre com cama de palha de trigo orgânico durante o período de inverno, não foram observadas desvantagens do sistema confinado para a produção de leite, células somáticas e condição corporal (HEINS et al., 2019). Para Weary e Tazskun (2000) a provisão de uma área de cama confortável e suficiente minimiza o potencial de infecção bacteriana (Weary e Tazskun, 2000). Além disso, o tipo de superfície de cama e seu manejo é fundamental para manter a baixa incidência de problemas de claudicação, lesões e higiene do úbere (COOK et al., 2016).

Ao considerar a aplicação do protocolo WQ, sabe-se que vacas leiteiras em sistema de alojamento livre têm uma melhor qualidade de bem-estar em relação a vacas leiteiras em sistemas de amarras (POPESCU et al., 2013). É conveniente ressaltar os efeitos positivos do pastoreio em relação à alguns critérios, são considerados como: o “conforto em torno do repouso”, a “ausência de lesões”, a “ausência de doença”, a “expressão de comportamentos sociais” e o “estado emocional positivo”. Embora o acesso ao pasto ofereça um grande potencial para melhorar o bem-estar das vacas leiteiras, os efeitos benéficos não são garantidos quando o manejo não satisfaz as necessidades dos animais (WAGNER et al., 2018).

1.5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA COMPOST BARN

A configuração de um CB geralmente é baseada na separação do ambiente em dois espaços. O maior espaço é denominado área de descanso. Este possui um sistema composto cama para o alojamento dos animais. O segundo espaço é representado não necessariamente por piso sólido, o qual detém a área de alimentação e bebedouros (JANNI et al., 2007; KLAAS et al., 2010; BLACK et al., 2013).

Embora seja ideal manter estes dois espaços na metodologia apresentada, ainda existem instalações cuja área de alimentação e bebedouros também seja composta por cama (RADAVELLI, 2018). Nesta situação, quando os animais se levantam para se alimentar, defecam e urinam com maior frequência, contudo o local se torna mais úmido e indesejável para a manutenção a longo prazo do sistema (BEWLEY et al., 2012). Segundo as recomendações de Janni et al. (2007), Bewley et al. (2012), Black et al. (2013) e Black et al. (2014), a área de cama dos CB construídos em estados americanos deve ser cercada com muros de aproximadamente 1,2 metros de altura, e esta recomendação também convém para a divisória entre a área de alimentação. A mureta tem a finalidade de controlar a umidade no interior do estábulo e evitar a saída de cama do local requerido; em contrapartida, maiores

alturas podem prejudicar a circulação do ar. Para facilitar o acesso à pista de alimentação e à água, é desejável que sejam oferecidas passagens no comprimento do estábulo e entre os dois espaços (JANNI et al., 2007).

Segundo Bewley et al. (2012), se indica que o espaço linear de comedouro seja de aproximadamente 60 a 75 cm por animal, embora hajam referências de limites menores, entre 46 a 76,2 cm (JANNI et al., 2007; BEWLEY et al., 2013). A água deve ser instalada em lado oposto ao do comedouro, o bebedouro deve conter no mínimo 90 centímetros de perímetro por grupo de 15 a 20 vacas. Devido à possível dominância de alguns animais é interessante que sejam disponibilizados em vários pontos (BEWLEY et al., 2012) e que eles sejam separados da área de cama por uma parede de retenção (BEWLEY et al., 2013).

A base do CB deve ser de terra, cascalho ou concreto. O material mais comum é a utilização de terra, que é muito mais barata e permite o escoamento da umidade da cama entre as partículas de solo evitando o acúmulo de água. A sala de ordenha deve se localizar próxima ao confinamento, a fim de evitar que os animais caminhem longas distâncias (BEWLEY et al., 2012) e ao adentrarem no sistema tragam rejeitos.

É imprescindível que o sistema adotado promova conforto aos animais alojados. Quanto ao material da cama sobreposta, geralmente utiliza-se maravalha ou serragem de madeira. Sua preeminência é a capacidade de compostar ao longo do tempo, toda a matéria orgânica residual dos animais (BARBERG et al., 2007; JANNI et al., 2007). Segundo Janni et al. (2007) a compostagem da cama permite que as fezes e a urina sejam estocadas como sólidos por longos períodos de tempo. Por sua vez, o manejo de cama é um dos aspectos que determina o êxito aplicado ao funcionamento do sistema. O revolvimento diário do material a ser decomposto auxilia na perda de umidade na cama para o ambiente, na não compactação do material, e auxilia no processo de incorporação do oxigênio; em conjunto, estes manejos mantêm a superfície da cama macia para os animais deitarem (JANNI et al., 2007).

Um quesito que interfere na qualidade de cama e manutenção do sistema é a taxa de lotação animal, pois, quando é distribuída uma alta carga de dejetos em uma estreita área de cama, pode ser criada uma condição de excessiva umidade na cama; neste contexto, os animais são facilmente expostos às possíveis contaminações que comprometem a saúde da glândula mamária (BEWLEY et al., 2012). O sistema deve ser projetado de modo que suporte a carga animal, com espaço suficiente para as vacas se deitarem e se locomoverem de forma natural. A recomendação do espaçamento de cama para os animais varia conforme o clima de cada região.

Em Israel (KLAAS et al., 2010) e na Holanda (GALAMA, 2011) são recomendados 15 m² de área por vaca. Caso a área de alimentação também seja composta por cama, Klaas et al. (2010) sugerem que sejam disponibilizados 20 a 30 m², contudo, existe menor acúmulo de umidade por metragem de cama. Ainda, Endres (2009) adverte que há variação entre as raças alojadas no estábulo, e sugere que a área mínima para vacas da raça Holandesa seja 7,2 m² e para vacas da raça Jersey 6,1 m². O maior espaçamento por animal resulta em menor reposição da cama (ENDRES, 2009).

A ventilação é necessária em qualquer sistema de alojamento de animais, seja ela na forma natural, mecânica ou combinada. Sobretudo, em estábulos do tipo CB ela é essencial para remover o calor e a umidade criada pelas vacas e pelo processo de compostagem, além da remoção dos gases (JANNI et al., 2007; LOBECK et al., 2011). Berman (2005) observou que o excesso da umidade no interior de um estábulo poderia ser mitigado pela manutenção da velocidade do ar entre 1,5 a 2,0 m/s. Nas condições brasileiras, a velocidade do vento dificilmente é constante, por isso, segundo Bewley et al. (2012), a ventilação mecânica é necessária para evitar áreas estagnadas no interior do estábulo. Da mesma forma, é interessante que o local de construção não bloqueie a passagem de ar no interior do estábulo. Pilatti et al. (2018) observaram que os animais alojados em CB com problemas de ventilação se aglomeram em frente aos ventiladores nas horas mais quentes do dia.

Para permitir a ventilação natural no interior do estábulo e facilitar o desempenho do maquinário na aeração da cama, na limpeza dos corredores e no trato dos animais, alguns autores recomendam que a altura do pé-direito lateral alcance no mínimo 4,8 m. Recomenda-se que o telhado contenha um beiral de 90 cm para evitar a entrada de água da chuva para dentro da instalação e no ponto mais alto do telhado haja lanternins que maximizem a ventilação (BEWLEY et al., 2012).

1.6. PROCESSO DE COMPOSTAGEM E MANEJO DE CAMA

O desempenho da compostagem é influenciado por vários fatores relacionados ao manejo do sistema, tais como a frequência de aeração, deposição de dejetos e reposição de material. Ainda, o desempenho pode ser verificado por meio da umidade da cama, temperatura alcançada durante o processo, pH, relação carbono/nitrogênio, densidade aparente e espaço livre de ar.

Os microrganismos produzem calor como resultado de processos metabólicos. Esse calor resulta em um aumento na temperatura do composto (PAUL, 2014). Em condições

superaquecidas, os organismos termófilos são favorecidos, enquanto que ambientes mais frios favorecem os psicrófilos (WOLF, 2017). Em fazendas leiteiras americanas, Eckelkamp et al. (2016) observaram que à medida que a temperatura interna da cama aumentava, o crescimento de bactérias do gênero *Stafilococcus* spp., *Streptococcus* e *Bacillus* spp. na área de cama diminuiu e o crescimento das espécies de coliformes aumentou.

O teor de umidade da cama é considerado como um dos principais parâmetros que afetam o processo de biodegradação (KIM et al., 2016) e a temperatura do composto é frequentemente usada para indicar o sucesso da compostagem (WOLF, 2017). Todavia, o teor de umidade é um parâmetro importante para ajudar os produtores a captar problemas nas características da cama mais rapidamente, permitindo que alterem as estratégias de gerenciamento antes que o desempenho da compostagem diminua substancialmente afetando a sua temperatura (WOLF, 2017).

O carbono (C), o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K) são os nutrientes primários requeridos pelos organismos (DAMASCENO, 2012). Eles são capazes de utilizar o carbono como fonte de energia para o seu crescimento e o nitrogênio como fonte de proteína essencial para o metabolismo e reprodução. Relações de C:N acima de 30:1 são ideais para que a compostagem permaneça ativa, sendo que em relações inferiores a 20:1, o carbono disponível é totalmente utilizado sem estabilizar todo o nitrogênio (GALAMA, 2014).

Quanto ao tipo de material utilizado como cama, é interessante que seja rico em carbono, com boa capacidade de absorver água, que não provoque alergias e desconforto para que as vacas se deitem. A escolha do material pode determinar a qualidade da cama ou até mesmo a frequência de sua substituição. O material mais utilizado entre os produtores são aparas de madeira ou serragem finamente processadas (JANNI et al., 2007). Como os custos de serragem estão cada vez maiores e há uma escassez do produto, surgiu o interesse em fontes alternativas de cama nos EUA (SHANE et al., 2010). Materiais como: palha de trigo, milho e soja, semente de linhaça, arroz cascas, cascas de café, bagaço, papel, casca de amendoim se mostraram eficientes e com potencial para ser utilizados sozinhos ou associados a outros materiais em CB nos EUA (SHANE et al., 2010). Segundo Bewley et al. (2013), a serragem promove proporção adequada de área de superfície e porosidade devido a ótima relação entre partículas finas e grossas.

O conteúdo de matéria orgânica, a textura e estrutura dos materiais regulam a capacidade de retenção de água (KIM et al., 2016). Por sua vez, o tamanho de partícula e sua distribuição são aspectos decisivos no equilíbrio da área superficial da cama em termos de crescimento de microrganismos, manutenção de porosidade adequada para aeração, além de

ajudar na capacidade de absorção de umidade pela cama e na disponibilidade do carbono para o processo de compostagem (DAMASCENO, 2012; GALAMA, 2014).

Barberg et al. (2007) salientam que os produtores de Minnessota normalmente adicionam 30 a 45 cm de cama para começar o CB, em seguida adicionam camadas de 5 a 10 cm, em intervalos de duas a cinco semanas. Tal manejo de reposição varia conforme a capacidade de perda de umidade da cama para o ambiente.

A incorporação do oxigênio na cama é feita por meio do seu revolvimento, portanto, a superfície da cama deve ser macia o suficiente para permitir a infiltração de ar (BEWLEY et al., 2012). Para que a compostagem ocorra, a cama deve ser revolvida pelo menos duas vezes por dia, por meio de equipamento escarificador com profundidade de revolvimento aproximada entre 15 a 25 cm (BARBERG et al., 2007). Por meio da experiência prática de alguns produtores de Minnessota, Endres e Barberg (2007) perceberam que aeração mais profunda (40 a 45 cm) reduziu a necessidade de reposição da cama, resultado da taxa de secagem mais eficiente.

De acordo com Bewley e Taraba (2009), a umidade da cama deve permanecer entre 50 e 60%, o que é resultado da quantidade de dejetos, urina e atividade microbiana da cama equilibrados. Bewley et al., (2013) sugere que *in loco* a umidade da cama pode ser verificada ao pegar um punhado de cama e o comprimir, e se as gotículas de água escorrerem ou aparecerem na superfície de cama espremida, o material está muito molhado, e nesta condição a reposição de material é necessária. Quando houver dificuldade em agregar as partículas pode sugerir que a cama está muito seca. Em condições normais, a reposição de material é indicada a cada 6 meses ou 1 ano, e para iniciar um novo ciclo de compostagem é importante manter um resíduo de (10 a 15 cm) composto antigo para acelerar esse novo processo. Além disso, recomenda-se não o iniciar na época de temperaturas mais baixas (JANNI et al., 2007).

É importante que a temperatura no interior da cama, alcance valores entre 54 e 65 °C (JANNI et al., 2007), pois nestas condições pode haver a eliminação de microrganismos patogênicos causadores de mastite (BLACK et al., 2014). Quando existe a dificuldade em atingir estas temperaturas, Black et al. (2013) definiu que a cama passa por um processo de semi-compostagem, que neste caso ocorre a sanitização do material. No entanto este não é um requisito do processo de compostagem.

Em uma pesquisa realizada na Holanda, Galama (2014) avaliou o processo de compostagem da cama em duas fazendas leiteiras inspiradas em manejos consolidados. O manejo da fazenda Wiersma foi inspirado nos estábulos de Minnessota (EUA). Através da utilização de maravalha (35 a 50 cm) como material de cama, a temperatura interna do

material atingiu de 55 °C. O material de cama geralmente era adicionado a cada a cada três meses para manter progresso no processo de compostagem. Em intervalos de cerca de um ano a relação C:N era reduzida ao ponto de exigir a troca de cama. O CB da fazenda Havermans foi inspirado no primeiro estábulo da Holanda, onde as vacas eram alojadas em estrume seco. Esta metodologia não era capaz de manter a camada superior da cama seca suficiente. Eram necessários cerca de 27 m² de cama por vaca com espessura média de 50 a 70 cm.

Danieli et al. (2016) monitoraram 15 fazendas leiteiras do Oeste Catarinense entre os meses de Julho a Agosto, com a finalidade de caracterizar a qualidade de cama. Foi observado que a temperatura média de cama foi de 39,1±7,1 °C. O valor médio que representa a matéria seca das camas avaliadas foi de 48,7±10,6%. Esta última variável se correlacionou positivamente ($r= 0,74$) com a temperatura do ar no interior do galpão e negativamente ($r= -0,67$) com a umidade relativa do ar no interior do galpão ($p < 0,05$). Foi observado que à medida que a temperatura do ar aumentou, a matéria seca da cama também foi aumentada. Em contrapartida, a umidade da cama foi aumentada quando a umidade relativa do ar também foi aumentada. Estes resultados deixam clara a susceptibilidade da cama às condições ambientais a qual fica exposta, e que um controle destes fatores deve ser exercido para que os valores de temperatura de umidade ideais da cama sejam atingidos (DANIELI et al., 2016).

CAPÍTULO II

MANUSCRITOS

Os resultados desta dissertação são apresentados na forma de dois manuscritos, com suas formatações de acordo com as orientações da revista científica:

Journal of Animal Science

MANUSCRITO I

***Running head:* Dinâmica de uso e ambiência em Compost Barn**

Dinâmica de compostagem e características ambientais de Compost Barns da região Subtropical do Brasil¹

¹Os autores agradecem à CAPES, pela bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ Processo Universal n. 428853/2016-1, pelo auxílio financeiro. Aos proprietários das fazendas leiteiras pela disponibilidade de estruturas e dos animais para a realização do estudo. Aos professores da Universidade do Estado de Santa Catarina, Aline Zampar, Juliano Vitória Domingues e Maria Luísa Appendino Nunes Zotti, e da UNOESC Fábio José Gomes, pelo auxílio no planejamento, análise de dados, elaboração de plantas e redação do artigo científico.

1 **RESUMO:** Objetivou-se avaliar se a dinâmica da compostagem difere em *compost barns*
2 (CB) da região subtropical do Brasil durante o inverno e verão e ainda, caracterizar o
3 microclima interno das instalações e a sua influência sobre a ambiência de vacas leiteiras.
4 Foram avaliadas, durante o verão (V) e o inverno (I), nove propriedades distribuídas em três
5 grupos (G1: instalações convencionais, de grande porte e utilização em tempo integral; G2:
6 convencionais e adaptados, utilização em tempo integral; G3: utilização em tempo parcial). A
7 dinâmica de compostagem foi avaliada por meio do monitoramento da temperatura média de
8 cama e da umidade relativa, em oito pontos de coleta durante 24 horas; e, em 20 pontos,
9 durante o período diurno (*i.e.*, temperatura e umidade diurnas). Com esta última amostragem,
10 foi criada a distribuição espacial dos dados (método *IDW*). Também foram avaliados o pH, a
11 capacidade de retenção de água (W), densidade, profundidade das camas e sua composição
12 mineral. A ambiência das vacas leiteiras foi averiguada por meio da avaliação da frequência
13 respiratória (FR) e da temperatura média superficial (TMS). A temperatura média da cama foi
14 maior no V (36,55 °C) em relação ao I (32,12 °C) considerando-se tanto os grupos quanto em
15 cada propriedade avaliada ($P < 0,05$). Para a umidade da cama, foi observada interação entre
16 grupos e estações do ano ($P < 0,05$), sendo que a umidade média foi menor no V (46,91% e
17 41,41%) em relação ao I (57,03% e 51,97%) para os G1 e G2, porém no I não diferiu entre os
18 grupos. Houve interação entre as estações do ano e grupos para a W, e para a porcentagem de
19 retenção de cama nas peneiras de 9,50 mm e fundo ($P < 0,05$). Houve efeito da estação do ano
20 sobre o pH das camas, o qual foi de 9,62 no V e de 9,39 no I ($P < 0,05$). A FR das vacas foi
21 maior no V (63,67 mov min⁻¹) em relação ao I (40,85 mov min⁻¹) ($P < 0,05$), e foi observada
22 interação entre grupos e estações do ano para a TMS dos animais ($P < 0,05$). A melhor
23 dinâmica de compostagem foi encontrada em CB denominados convencionais
24 (independentemente de seu tamanho) e nos adaptados para este fim, especialmente no verão.
25 Evidencia-se que o adequado funcionamento e a longevidade do sistema CB dependem de
26 manejos diários adotados de forma constante, principalmente o revolvimento da cama.
27 **Palavras-chave:** compostagem, *compost barn*, conforto térmico, temperatura de cama.

28

INTRODUÇÃO

Os sistemas Compost Barns (CB) devem possuir dois espaços distintos: a área de descanso (uma cama coletiva composta por serragem ou maravalha) e a área de alimentação, geralmente adjacente à área de descanso (Janni et al., 2007). Na cama, a umidade e temperatura são dois importantes parâmetros envolvidos para manter o sistema de compostagem biologicamente ativo (Liang et al., 2003; Black et al., 2014; Albino et al., 2018). É recomendado que a temperatura da cama se mantenha no intervalo entre 43,3 a 65,0 °C (Janni et al., 2007; Bewley et al., 2013) e a umidade entre 45 e 55% (Liang et al., 2003; Bewley et al., 2013). A literatura americana (Barberg et al., 2007; Shane et al., 2010), israelense (Galama, 2011) e europeia (Klaas et al., 2010) oferecem informações contemplando metodologias para a construção de estábulo e manejos do CB nas condições climáticas particulares de cada região. Porém, estes referenciais não asseguram viabilidade técnica em condições brasileiras, em que a alta temperatura e umidade do ar são comuns, inclusive nas regiões subtropicais do Brasil e, quando associadas podem prejudicar a perda do calor corporal dos animais (Pilatti et al., 2018; Radavelli, 2018). Radavelli (2018) caracterizou 30 CB no Sul do Brasil, com relação à engenharia construtiva e a compostagem da cama, e sugeriu uma denominação para três grupos construtivos distintos na Região Subtropical Brasileira. A hipótese deste trabalho é que haverá variabilidade de características da cama e das respostas termorregulatórias dos animais, de acordo com os grupos de CB avaliados, com possível influência da estação do ano. Com isso, pretendeu-se avaliar se a dinâmica da compostagem difere em *compost barns* (CB) da região subtropical do Brasil durante o inverno e verão e ainda, caracterizar o microclima interno das instalações e a sua influência sobre a ambiência de vacas leiteiras.

MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Animais da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), sob protocolo CEUA nº 6933110718.

Foram avaliadas nove fazendas leiteiras comerciais, distribuídas em cinco municípios da Região Sul do Brasil (Coronel Freitas, Chapecó, Guatambú, Seara e União do Oeste), que utilizavam o CB como sistema de alojamento para bovinos de leite. Estas foram divididas em três grupos de fazendas, conforme análise de dados multifatorial proposto por Radavelli (2018): CB convencionais de grande porte, caracterizados por serem estábulos maiores, semelhantes aos modelos americanos, como proposto por Janni et al. (2007), com tempo de

63 utilização integral (Grupo 1 ou G1); CB convencionais ou adaptados, que eram instalações
64 novas, como proposto por Janni et al. (2007) ou adaptadas de outras instalações rurais, de
65 diversos tamanhos, com tempo de utilização integral (Grupo 2 ou G2) e CB de utilização
66 parcial, classificadas independentemente do tipo construtivo, porém somente utilizados em
67 horas quentes do dia ou período de chuva, os quais não possuíam ventilação mecânica e a
68 cama era revolvida eventualmente (Grupo 3 ou G3). Mais detalhes sobre as propriedades são
69 apresentados na Tabela 1.

70 **1. Características dos Compost Barns**

71 As instalações do G1 tinham áreas de cama entre 900 e 1500 m². Todas as instalações
72 possuíam ventilação mecânica (Tabela 1), aspersores na sala de espera ou na pista de
73 alimentação, pé-direito entre 4,40 e 6,46 m, eram construídos em pré-moldado de concreto e
74 possuíam cobertura de alo-zinco. Algumas imagens das instalações do G1 podem ser
75 observadas no Anexo 1.

76 O grupo G2 contemplou instalações de áreas de cama entre 975 e 1470 m² (Anexo 2).
77 Destes, um CB foi projetado diretamente para a produção de leite e os outros dois foram
78 adaptados de instalações projetadas para a criação de aves (os quais não possuíam um padrão
79 construtivo semelhante entre si). Todas as instalações possuíam ventilação mecânica (Tabela
80 1), a altura do pé-direito variava entre 3 a 6 m. Além disso, a propriedade 2 possuía aspersão
81 na pista de alimentação.

82 As áreas de cama das 3 instalações pertencentes aos grupos 1 e 2, eram revolvidas
83 duas vezes ao dia, um revolvimento era matinal, aproximadamente às 6:00±2:00 h e o
84 segundo revolvimento era no período vespertino, aproximadamente às 19:00±2:00 h. Em
85 todas as propriedades, material de cama seco (serragem ou maravalha) era adicionado
86 conforme a percepção visual de que a cama estava excessivamente úmida. Além disso, o
87 tempo de utilização das camas dos CB dos grupos 1 e 2 variaram entre elas, no entanto, devido
88 a dificuldade de estimativa do tempo de uso das camas, os dados não foram informados pelos
89 produtores.

90 Por fim, as fazendas leiteiras do G3, possuíam a área de cama entre 220 a 480 m² e
91 permitiam acesso ao pasto. Detalhadamente, os manejos realizados no G3 eram: nas
92 propriedades 1 e 2, o uso do estábulo era feito durante o fornecimento de suplementação
93 (silagem e concentrado) e, na propriedade 3 era permitido o livre acesso durante os períodos
94 mais quentes do dia. Nesta última, o acesso ao CB era disponibilizado durante todos os dias
95 durante a tarde, para evitar a incidência de radiação solar direta sobre os animais. As

96 propriedades 1, 2 e 3, do G3 disponibilizavam sucessivamente 22, 14 e 17 horas de acesso ao
97 pasto diariamente. As instalações possuíam características em comum como a ausência de
98 ventilação mecânica e o revolvimento da cama eventualmente. Algumas imagens das
99 instalações do G3 podem ser observadas no Anexo 3.

100 O material de cama utilizado nas propriedades dos Grupos 1, 2 e 3, eram serragem,
101 maravalha ou uma combinação dos dois materiais. Além disso, era preferencial pelos
102 produtores o uso de serragem. Tanto o tipo do material, o momento da reposição de cama e a
103 quantidade de cama repostada variavam conforme a disponibilidade de material na região. Na
104 Tabela 1 estão apresentadas algumas características das propriedades dos três grupos
105 avaliados, o manejo diário e características estruturais das instalações as diferenciava, bem
106 como suas características construtivas (Anexo 4).

107 O estudo foi realizado entre agosto e outubro de 2018 e janeiro a março de 2019. Cada
108 propriedade foi visitada em dois períodos distintos, de quatro dias consecutivos cada, durante
109 os meses descritos, sendo a primeira visita realizada no inverno e a segunda, no verão
110 subsequente. As visitas aconteciam aproximadamente entre as 7:00h e 19:00h de cada dia. A
111 variação do horário de visita em cada uma das propriedades era dependente do manejo de
112 revolvimento da cama, o qual requeria a retirada manual dos equipamentos que permaneciam
113 no interior da cama até o momento antecedente ao seu revolvimento. Por sua vez, os
114 equipamentos eram alocados novamente na cama, subsequente ao seu revolvimento. Devido a
115 metodologia de dois revolvimentos diários nas propriedades dos Grupos 1 e 2, a equipe
116 executora do projeto permanecia na propriedade entre os dois manejos de revolvimentos
117 diários.

118

119 2. *Variáveis da cama*

120 2.1. *Avaliação contínua da temperatura da cama e características físico-químicas*

121 A temperatura da cama foi registrada por meio de oito registradores (Maxim
122 Integrated, modelo DS1922T) programados para aferir a temperatura em intervalos de 10
123 minutos, durante o período de 24 h, por quatro dias consecutivos, em cada propriedade de
124 cada grupo. Os equipamentos foram distribuídos em pontos equidistantes na área de cama,
125 conforme a metodologia adaptada de Black et al. (2013), em uma profundidade de cama
126 aproximada de 20 cm. Os registradores possuíam estrutura em aço inoxidável de alta
127 resistência mecânica. Os dados eram descarregados via cabo em um computador. Eles eram
128 armazenados ao abrigo de umidade (envolvidos em proteção fina de látex), e retirados da

129 cama no momento imediatamente antecedente ao seu revolvimento, sendo novamente
130 inseridos no mesmo local depois do manejo (os registros de temperatura neste intervalo foram
131 desconsiderados).

132 Nas propriedades foram verificadas outras características da cama. A profundidade foi
133 mensurada com uma haste de ferro graduada e inserida na cama, em cada um dos oito pontos
134 de coleta. A estimativa da massa específica (kg de material/m³) foi realizada mediante a coleta
135 de amostra em um cilindro de volume conhecido, com posterior pesagem (Jobim et al., 2007).

136 Foram colhidas amostras de cama em cada um dos pontos, antes e após cada um dos
137 manejos de revolvimento diário, conforme a metodologia proposta por Black et al. (2013). As
138 amostras eram acondicionadas em embalagens plásticas transparentes e em caixas isotérmicas
139 para o transporte até o Laboratório de Nutrição Animal, da UDESC. Todas as amostras foram
140 analisadas quanto a matéria seca (MS) e pH, conforme os métodos descritos por Silva e
141 Queiroz (2002). Também foi analisada a capacidade de retenção de água (W), conforme a
142 metodologia adaptada para solos (ISO 11465, 1993) e ainda, a distribuição do tamanho médio
143 de partículas, por meio de um analisador granulométrico, conforme a metodologia adaptada
144 de Damasceno (2012). Foram utilizadas peneiras com crivos de 9,50, 4,75 e 2,00 mm,
145 somadas à porção do fundo. Após agitação, foi quantificada a percentagem de amostra retida
146 em cada uma das peneiras.

147 A partir do grupo de amostras colhidas no intervalo dos quatro dias, foi formada uma
148 amostra composta e encaminhada ao Laboratório de Análises Químicas do Solo e Física, da
149 EPAGRI/Cepaf, em Chapecó, SC. Cada amostra foi analisada para determinar os
150 macronutrientes (P, K, Ca, Mg e N), micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) e Carbono orgânico,
151 conforme as metodologias descritas no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para
152 Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos do MAPA (Brasil, 2014).
153 Para calcular o Carbono Total (CT) e a matéria orgânica (MO) foram usadas as equações
154 lineares indicadas por Carmo e Silva (2012).

155 **2.2. Avaliação diurna da temperatura e umidade da cama**

156 Além dos oito registradores mantidos na cama para avaliações contínuas, mais 12
157 equipamentos foram distribuídos uniformemente em mesma profundidade, abrangendo maior
158 área de cama. Assim, o comportamento diurno da cama foi representado por 20 pontos de
159 coleta (Anexo 5). Estes equipamentos foram mantidos na cama pelo período entre os dois
160 revolvimentos diários, exceto para as fazendas do G3, nas quais foram mantidos pelo período
161 entre as duas ordenhas, por 2 dias em cada período de coleta, por propriedade. Para este
162 objetivo, também foram incluídas as amostragens dos oito equipamentos mantidos

163 continuamente na cama. Em cada um dos 20 pontos anteriormente determinados para a
164 aferição da temperatura, houve a coleta de amostras de cama depois de um dos revolvimentos,
165 para análise de MS (Silva e Queiroz, 2002).

166 **2.3. Variáveis climáticas**

167 O microclima interno dos CB foi descrito pelas variáveis de temperatura de bulbo seco
168 (TBS; °C), umidade relativa do ar (UR; %) e temperatura de globo negro (TGN; °C). A TBS e
169 a UR foram registradas por meio de um registrador (Hobo, U12-013). No registrador de dados
170 foi incorporado um sensor externo para temperatura (Hobo, TMC6-HD), o qual foi acoplado
171 no centro geométrico de uma esfera oca de polietileno, pintada de preto fosco (termômetro de
172 globo negro) para mensuração da TGN. O registrador de dados juntamente ao termômetro de
173 globo negro foi posicionado a 2 m de altura em relação à superfície da cama, conforme a
174 metodologia adaptada de Black et al. (2013), no centro geométrico do estábulo. O microclima
175 externo aos CB foi descrito pelas mesmas variáveis e respectivas metodologias e
176 equipamentos. O registrador acoplado ao sensor externo foi posicionado a 1,5 m do solo, no
177 interior de um abrigo meteorológico, com exceção do termômetro de globo negro, na face sul
178 de cada CB. Os registros internos e externos às instalações foram programados para coletar
179 os dados instantâneos em intervalos de 15 minutos durante o período de 24 h, em cada dia de
180 amostragem. Com base nos valores de TGN foi possível calcular o ITGU, conforme equação
181 proposta por Buffington et al. (1981).

182 **2.4. Variáveis dos animais**

183 Como indicadores de conforto térmico, foram mensuradas as respostas
184 termorregulatórias dos animais frequência respiratória (FR; mov min⁻¹) e temperatura média
185 superficial (TMS; °C). A FR foi tomada por dois observadores, uma vez em cada estação do
186 ano, pela contagem de movimentos do flanco, durante 15 minutos. A contagem foi
187 multiplicada por quatro para obter a contagem por minuto. Para medir a TMS dos animais foi
188 utilizado um termômetro digital infravermelho (Fluke, série 60) em diferentes partes do
189 corpo, conforme Montanholi et al. (2008): garupa, flanco, costela e pata. Após, foi realizada a
190 média aritmética dos valores amostrados para cada animal. A mensuração da FR iniciava às
191 13:00 h nas propriedades do G1 e G2 e durante a ordenha da manhã no grupo G3,
192 independente da estação do ano, em 100% dos animais presentes nas instalações. E, a
193 mensuração da TMS acontecia durante a ordenha da manhã nos 3 grupos avaliados.

194 **3. Análise dos dados**

195 **3.1. Metodologia para elaboração das plantas baixas, e a distribuição espacial da** 196 **temperatura e umidade das camas**

197 As plantas baixas (Anexo 1) foram elaboradas por Desenho Assistido por
198 Computador, no Autocad (2015). Foi realizada a técnica simplificada de planta baixa, com
199 cotagem e cálculos básicos de área de cada cama da estabulação de bovinos leiteiros
200 (Autocad, 2015).

201 Com o objetivo de representar as variações de dados existentes em uma determinada
202 área, foram elaboradas figuras comparativas de temperatura e umidade das camas,
203 considerando os 20 pontos amostrados, por meio da análise espacial utilizando interpolação.
204 Esta metodologia de interpolação representa os dados espaciais de pontos coletados em
205 conjunto com estimativas de pontos vizinhos não amostrados, criando um mapa de isovalores
206 ou campos contínuos. Por raciocínio base, a interpolação atribui valores que tendem a ser
207 similares nos locais mais próximos aos que se tem a informação, do que em locais mais
208 afastados. Refere-se a uma correlação espacial entre as variações amostradas e não
209 amostradas. Como método de interpolação foi utilizado a Ponderação do Inverso das
210 Distâncias (*Inverse Distance Weighting*). Este método equaciona que valores mais parecidos
211 estão mais próximos do que os distantes. Isso faz com que use valores amostrados a sua volta
212 com mais peso que valores mais distantes. Cada ponto amostral influencia a sua volta até um
213 novo ponto influenciador ou o infinito. Trata-se, portanto, de um interpolador exato,
214 produzindo efeito de pequenas áreas que se diferenciam ao redor da localização dos dados
215 (Jakob; Young, 2006).

216 Para cálculo do método na validação cruzada, utilizou-se o programa Qgis (2019).
217 Nele, fez-se uso do processamento de interpolação, pelo inverso da distância ponderada
218 (método *IDW*). Nesse procedimento, utilizou-se os valores de amostras para criar a
219 interpolação. Para realizar o método, foi necessário equacionar o erro médio quadrático da
220 predição da interpolação (p), para o qual foi usado o valor de 2 (considerado como o que
221 produziu o melhor resultado para o local). A partir disso, na criação da imagem que produziria
222 a interpolação, foi usado um pixel que representa dois metros, definido pelo melhor resultado
223 ilustrativo. E, para classificação, utilizou-se seis classes com intervalos iguais a partir dos
224 valores mínimos e máximos de temperatura e umidade de cada estação, inverno e verão,
225 comparadas. O valor mínimo de comparação de temperatura foi de 20 °C e máximo de 50 °C.
226 Para umidade, utilizou-se um mínimo de 14% e máximo de 68%.

227 **3.2. Análise estatística**

228 Não houve delineamento experimental, pois ocorreu apenas coleta de informações,
229 sem emprego de tratamentos. Os dados foram analisados por análise de variância, e as médias
230 entre tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Foi estimado o
231 coeficiente de correlação de Pearson. Adicionalmente, para os dados que foram coletados em
232 20 pontos de observação, foi realizada análise de regressão, utilizando-se o software
233 estatístico R (R CORE TEAM, 2017).

234

235

RESULTADOS

236 *Temperatura da cama*

237 Estatisticamente, observou-se que não houve interação entre grupo e estação do ano
238 sobre a temperatura média da cama (Tabela 2) e temperaturas diurnas das camas (ilustradas na
239 distribuição espacial da temperatura e umidade das camas - Figuras 1, 2 e 3) ($P > 0,05$).
240 Todavia, em ambas as abordagens avaliadas (em 8 ou 20 pontos), a temperatura média das
241 camas (Tabela 2) e as temperaturas diurnas das camas (Figuras 1, 2 e 3) diferiram
242 significativamente entre os grupos estudados e as estações do ano ($P \leq 0,05$). Nas duas
243 abordagens, a maior temperatura foi observada para o Grupo 2, seguido pelo Grupo 1 e Grupo
244 3, sendo neste último registrada a menor temperatura de cama ($P < 0,05$). Ainda, a
245 temperatura de cama foi maior no verão em relação ao inverno para todos os grupos avaliados
246 ($P < 0,05$).

247 Para os grupos 1 e 2, observou-se que após cada revolvimento a temperatura da cama
248 aumentava, até determinado ponto, característico para cada grupo (Figuras 5, 6 e 7). Em
249 seguida, se estabilizava até o momento da retirada do termômetro para o revolvimento
250 seguinte. Este comportamento da temperatura da cama era independente da estação do ano, e
251 foram observados valores absolutos de temperatura de cama mais elevados para o G2 em
252 relação ao G1. No G3, a temperatura da cama permaneceu estável ao longo do dia,
253 independente da estação do ano. Todavia, como já citado, as temperaturas das camas foram
254 superiores no verão em relação ao inverno, para todas as propriedades ou grupos avaliados.

255 A distribuição espacial da temperatura e umidade representam a variação diurna destas
256 duas variáveis aferidas nos 20 pontos de coleta (Figuras 1, 2 e 3). Houve diferença
257 significativa da temperatura entre os pontos avaliados, dentro de cada cama dos CB, e entre as
258 estações do ano para cada propriedade ($P < 0,05$), exceto para a cama da propriedade 1 do G1,
259 em que as temperaturas da cama entre os pontos avaliados não diferiram entre si, somente no
260 inverno ($P < 0,05$).

261 *Umidade*

262 Não houve diferença estatística para a umidade da cama entre os 20 pontos de coleta
263 para nenhuma propriedade avaliada, bem como entre grupos dentro de cada estação do ano (P
264 $> 0,05$) (Figuras 1, 2 e 3).

265 Todavia, houve interação ($P < 0,05$) entre os grupos e as estações do ano sobre a
266 umidade média das camas (Tabela 2). O desdobramento da interação indicou que no verão a
267 umidade da cama foi maior no grupo 3 em relação aos grupos 1 e 2, que não diferiram entre si
268 ($P < 0,05$). Por outro lado, a umidade das camas não diferiu entre os grupos, no inverno. O
269 desdobramento da interação para os grupos indicou que as camas dos grupos 1 e 2 se
270 mantiveram mais úmidas durante o inverno em relação ao verão ($P < 0,05$) e a umidade da
271 cama do grupo 3 não diferiu entre as estações do ano ($P < 0,05$) (Tabela 6).

272 Também houve interação ($P < 0,05$) entre os grupos e as estações do ano sobre a
273 umidade avaliada nos 20 pontos dentro de cada cama, conforme os dados apresentados na
274 distribuição espacial da temperatura e umidade (Figuras 1, 2 e 3). No entanto, o
275 desdobramento da interação indicou que no inverno, os grupos 2 e 3 apresentaram menor teor
276 médio de umidade do que o grupo 1 ($P < 0,05$); e durante o verão, houve um menor teor de
277 umidade no Grupo 2, seguido pelos Grupos 1 e 3 ($P < 0,05$). Por sua vez, o desdobramento da
278 interação para os grupos indicou mesma relação encontrada para a umidade média das camas
279 ($P < 0,05$).

280 ***pH***

281 A Tabela 2 mostra que o pH da cama variou entre os grupos e as estações do ano ($P <$
282 $0,05$). A maior média foi encontrada no G2, seguido pelo G1 e G3 ($P < 0,05$). Ainda, o pH da
283 cama foi maior no verão em relação ao inverno ($P < 0,05$).

284 ***Profundidade, densidade, tamanho de partícula e capacidade de retenção de água***

285 Os resultados das características de profundidade, densidade e capacidade de retenção
286 de água da cama, além da porcentagem de retenção de cama nas peneiras de 9,50 mm, 4,75
287 mm, 2,00 mm e na porção de fundo estão apresentadas na Tabela 2.

288 Houve a interação ($P < 0,05$) entre os grupos e as estações do ano sobre a capacidade
289 de retenção de água da cama. O desdobramento da interação (Tabela 6) sugere que no inverno
290 não houve efeito de grupo ($P < 0,05$) sobre a capacidade de retenção de água. No verão, a
291 capacidade de retenção de água do Grupo 3 foi maior em relação aos outros grupos. Ao
292 analisar o efeito do grupo, foi observado que a cama dos Grupos 1 e 3 retiveram quantidade
293 de água semelhantes no inverno e no verão ($P < 0,05$). Por sua vez, houve maior retenção de
294 água no inverno em relação ao verão no Grupo 2 ($P < 0,05$).

295 Houve interação ($P < 0,05$) entre os grupos e as estações do ano sobre a quantidade de
296 cama retida nas peneiras de 9,50 mm e no fundo. A retenção de cama nas peneiras de
297 granulometrias intermediárias (4,75 e 2,00 mm) variou somente entre os grupos estudados (P
298 $< 0,05$), sendo que, houve maior retenção de cama nas duas peneiras para o Grupo 2 ($P <$
299 $0,05$) e a menor retenção foi observada no Grupo 3 ($P < 0,05$). Por sua vez, a retenção de
300 cama para o Grupo 1 não diferiu dos demais grupos ($P < 0,05$). O desdobramento das
301 interações quanto à quantidade de cama retida nas peneiras de 9,50 mm e no fundo indicou
302 que não houve efeito de grupo no inverno para as duas frações da granulometria (Tabela 6).
303 No verão, a quantidade de cama retida na peneira de 9,50 mm foi maior no Grupo 3 e menor
304 para os demais grupos ($P < 0,05$). Por sua vez, para a porção de fundo, a retenção de cama foi
305 maior nos grupos 1 e 2 e menor para o grupo 3 ($P < 0,05$). Ainda, a retenção de cama nas
306 peneiras de 9,50 mm e fundo não diferiram dentro do mesmo grupo para o verão e o inverno.

307 A densidade da cama foi maior no grupo 3, comparada aos grupos 1 e 2 ($P < 0,05$)
308 (Tabela 2). A profundidade da cama dos CB avaliados variou entre os grupos ($P < 0,05$). A
309 menor profundidade de cama foi obtida no grupo 3, seguida pelos grupos 1 e 2, que possuía a
310 maior média. A porcentagem de retenção de cama nas peneiras de 4,75 e 2,00 mm, a
311 densidade e a profundidade da cama não foram influenciadas pela estação do ano.

312 ***Variáveis dos animais***

313 A frequência respiratória das vacas foi influenciada ($P < 0,05$) pelo grupo e pela
314 estação do ano, todavia, não houve interação dos fatores sobre esta característica (Tabela 3).
315 A maior frequência respiratória foi encontrada para os animais alojados nos grupos 1 e 3 e no
316 verão ($P < 0,05$).

317 Para a temperatura superficial dos animais houve uma interação ($P < 0,05$) entre os
318 grupos e as estações do ano. Portanto, a interação foi desdobrada para permitir melhor
319 interpretação dos resultados (Figura 4). No inverno, a menor temperatura superficial dos
320 animais foi observada no grupo 3, com valores semelhantes para os grupos 1 e 2 ($P < 0,05$).
321 No verão não foi observado efeito de grupo ($P < 0,05$) sobre a temperatura superficial dos
322 animais. Ao analisar o efeito do grupo nas diferentes estações, foi observado que a
323 temperatura superficial dos animais alojados nos CB do grupo 1 não foi influenciada pela
324 estação do ano. Todavia, para os grupos 2 e 3 a temperatura superficial foi maior no verão em
325 relação ao inverno ($P < 0,05$).

326 ***Minerais da cama***

327 A Tabela 4 descreve a composição média, e a amplitude da composição de nutrientes e
328 da relação entre o carbono e o nitrogênio das camas dos CB nas diferentes estações do ano. A

329 relação C:N variou entre 20,0 e 35,4 no inverno e 10,8 e 15,9 no verão. Em todos os grupos
330 estudados observou-se maiores valores percentuais de nitrogênio na cama dos CB no verão
331 em relação ao inverno.

332 *Variáveis climáticas*

333 As curvas diárias das variáveis microclimáticas, representadas pela temperatura do ar,
334 umidade relativa do ar, ITGU internos e externos aos estábulos dos diferentes grupos de CB e
335 estações do ano estão disponíveis nas Figuras 5, 6 e 7, para os grupos 1, 2 e 3 sucessivamente.
336 As temperaturas do ar alcançaram o ponto mais alto nas curvas entre às 12:00 e às 17:00 h,
337 independente da estação do ano ou grupo estudado. Por sua vez, as curvas encontradas para a
338 umidade relativa do ar apresentaram um comportamento inverso às curvas de temperatura do
339 ar. A oscilação da curva para a variável temperatura do ar foi semelhante à curva associada ao
340 índice ITGU, independente da estação do ano ou grupo estudado. No entanto, as curvas de
341 temperatura e ITGU foram mais acentuadas no verão em relação ao inverno para todos os
342 grupos estudados.

343 *Correlações entre as variáveis da cama*

344 As correlações entre a temperatura média, umidade média, capacidade de retenção de
345 água, profundidade e densidade da cama, além da retenção de cama nas peneiras de 9,50 mm,
346 4,75 mm, 2,00 mm e a porção de fundo estão disponíveis na Tabela 5. A umidade, a
347 capacidade de retenção de água, a retenção de cama na peneira de 9,50 mm e a densidade da
348 cama foram correlacionadas negativamente com a temperatura de cama ($P < 0,05$). Por sua
349 vez, o pH, a retenção de cama na peneira de 2,00 mm e a profundidade da cama foram
350 correlacionadas positivamente com a temperatura de cama ($P < 0,05$).

351 A capacidade de retenção de água, a retenção de cama na peneira de 9,50 mm, a
352 densidade e a profundidade da cama foram correlacionadas positivamente com a umidade da
353 cama ($P < 0,05$). Todavia, a retenção de cama nas peneiras de 2,00 mm e fundo foram
354 correlacionadas negativamente com este parâmetro ($P < 0,05$).

355 O pH foi correlacionado positivamente com a retenção de cama nas peneiras de 4,75
356 mm e 2,00 mm, além da profundidade de cama ($P < 0,05$). Ainda, a capacidade de retenção de
357 água foi correlacionada positivamente com a retenção de cama na peneira de 9,50 mm, na
358 porção de fundo e com a densidade da cama ($P < 0,05$).

359 A retenção de cama na peneira de 9,50 mm foi correlacionada negativamente ($P <$
360 $0,05$) com a retenção de cama na peneira de 2,00 mm, e na porção de fundo e positivamente
361 ($P < 0,05$) com a densidade e profundidade de cama. A retenção de cama na peneira de 4,75
362 mm foi correlacionada positivamente com a retenção de cama na peneira de 2,00 mm e

363 negativamente com a porção de fundo ($P < 0,05$). A porção de cama retida na peneira de
364 fundo foi correlacionada negativamente com a densidade e profundidade da cama ($P < 0,05$).

365

366

DISCUSSÃO

367 *Temperatura da cama*

368 A temperatura da cama de nenhum grupo ou estação do ano se manteve dentro do
369 intervalo recomendado por Bewley et al. (2013) e Janni et al. (2007), de 43,3 a 65,0°C e de 54
370 a 65°C, respectivamente. No entanto, é comum a dificuldade de atingir estes parâmetros
371 (Eckelkamp et al., 2016; Klaas et al., 2010; Black et al., 2013; Albino et al., 2018). A
372 temperatura de cama acompanhou a temperatura do ar neste estudo, e isso também foi
373 encontrado por Eckelkamp et al. (2016) e Albino et al. (2018). Segundo Eckelkamp et al.
374 (2016), a temperatura do ar é um preditor da temperatura da cama. No verão, o gradiente de
375 temperatura entre a cama e o ar é diminuído pois o calor perdido para o ambiente é menor
376 nesta estação do ano. A medida que o ar esfria, o gradiente de temperatura entre a cama e o ar
377 aumenta, levando à maior perda de calor (Black et al., 2014).

378 A aeração é importante para promover a maior entrada de oxigênio no sistema, o que
379 aumenta a atividade microbiana e a temperatura em profundidade da cama (Bewley et al.,
380 2013; Black et al., 2014; Eckelkamp et al., 2016), e neste sentido o processo de compostagem
381 se torna mais eficiente (Janni et al., 2007). A ventilação mecânica também pode auxiliar no
382 processo de compostagem, ela é capaz de retirar a camada de umidade superficial da cama e,
383 portanto, melhorar a condição de aeração. Ela esteve presente nas propriedades dos grupos 1 e
384 2, mas seu uso era limitado apenas ao verão, o que pode justificar o aumento de temperatura e
385 a maior taxa de secagem do material de cama nesta estação do ano. Radavelli (2018)
386 encontrou uma relação entre a frequência de revolvimento e a temperatura em profundidade
387 da cama, sendo que este manejo diário afeta diretamente a incorporação de oxigênio do meio.
388 Ainda, é reconhecido que após algumas horas do revolvimento, o nível de oxigênio cai para
389 níveis muito baixos e a temperatura se estabiliza (Diaz et al., 2007), o que explica a
390 necessidade de revolvimento diário para manter condições aeróbicas (Mota et al., 2019b).
391 Estes fatores explicam o comportamento da curva de temperatura da cama no presente estudo,
392 especialmente depois do seu revolvimento, e mostram que este parâmetro é afetado pelas
393 condições climáticas. Ainda, é importante ressaltar que a baixa oscilação da temperatura da
394 cama onde não havia o manejo de revolvimento (G3) pode indicar uma baixa atividade
395 microbiana ou ineficácia do processo de compostagem.

396 A temperatura da cama era menor quando a cama tinha partículas maiores, como as
397 retidas em peneiras de 9,50 mm. Por outro lado, aumentava quando havia mais partículas
398 menores, como as de 2,00 mm. Neste sentido, Damasceno (2012) indica que deve haver uma
399 adequada proporção entre as granulometrias da cama. Além disso, verificou-se que a maior
400 densidade da cama promoveu a diminuição da temperatura. As atribuições associadas ao
401 aumento da temperatura de cama são condizentes ao adequado manejo de revolvimento. Este
402 é capaz de promover a maior quebra de partículas grandes e, portanto, promover maior
403 aeração da cama e consequente atividade microbiana a qual produz calor. Ainda, pode-se
404 dizer que o aumento da umidade da cama promove maior agregação de partículas e, também a
405 redução da temperatura. A análise de correlação mostrou que camas mais profundas
406 apresentaram maior temperatura de cama, as quais ficaram mais evidentes considerando os
407 grupos 1 e 2, fazendas que faziam uso em tempo integral do CB.

408 *Umidade da cama*

409 Os grupos estudados tiveram umidades de cama diferentes entre as duas estações
410 avaliadas. De acordo com Liang et al. (2013), são desejados teores de umidade da cama entre
411 30 e 60% para favorecer a atividade microbiana, além de um concomitante aumento de
412 temperatura e consequente maior taxa de secagem do material (Black et al., 2013). A umidade
413 da cama abaixo de 30 a 35% pode inibir a atividade microbiana, cessando o processo de
414 compostagem (NRAES-54, 1992; Bewley et al., 2013). Radavelli (2018) também relatou que
415 a temperatura da cama é aumentada quando o seu teor de umidade está mais baixo. Portanto, a
416 maior taxa de secagem da cama (dentro do intervalo recomendado) durante o verão é benéfica
417 para manter o sistema de compostagem ativo. Estes resultados deixam clara a susceptibilidade
418 da cama às condições ambientais a qual fica exposta, e que um controle destes fatores deve
419 ser exercido para que os valores de temperatura de umidade ideais da cama sejam atingidos,
420 independente da estação do ano.

421 Black et al. (2013) demonstraram que a implementação de ventilação mecânica também
422 pode melhorar a taxa de secagem da cama. Ainda, o próprio manejo de revolvimento é capaz
423 de aumentar o fluxo de ar no material, o qual facilita a percolação de água nos microporos
424 aeróbicos e favorece a perda de umidade para o ambiente (Kim et al., 2016; Leso et al., 2013;
425 Wolf, 2017). Todos estes manejos e condições podem melhorar o sistema de compostagem,
426 com um consequente aumento da temperatura da cama, fenômeno que foi observado nos
427 grupos 1 e 2, que registraram menor umidade e maior temperatura da cama, em relação ao
428 grupo 3.

429 A influência da estação do ano sobre a umidade da cama dos grupos 1 e 2 remete à
430 dificuldade em se manter a cama seca devido à menor taxa de secagem do material no inverno
431 (Black et al., 2013) e maior no verão (Janni et al., 2007; Eckelkamp et al., 2016). Além disso,
432 vale ressaltar que o grupo 3 foi caracterizado pela mesma umidade de cama no verão e no
433 inverno, característica associada à ausência do manejo de revolvimento e à menor
434 incorporação de dejetos na cama, pois a principal característica destas propriedades era a
435 menor utilização do estábulo pelos animais e a ausência do manejo de revolvimento. As
436 medidas de pé-direito das instalações do grupo 3 eram menores em relação aos outros grupos
437 estudados, e ficaram abaixo do preconizado por Janni et al. (2007), que é de 4,9 m, para
438 manter a circulação do ar no interior do estábulo. Desta forma, devido aos altos percentuais de
439 umidade relativa do ar registrados na região do estudo, é de suma importância a implantação
440 de sistema de ventilação mecânica, conforme utilizados nos estábulos dos grupos 1 e 2.

441 Aparentemente, a maior umidade da cama ofereceu condições para o aumento da
442 capacidade de retenção de água e da densidade da cama. Ainda, foram observadas que camas
443 mais profundas tinham maior umidade. Todavia, conforme a umidade da cama foi aumentada,
444 houve um aumento no aparecimento de partículas acima de 9,50 mm e menor aparecimento
445 de partículas menores de 2,00 mm, conforme correlações apresentadas. Janni et al. (2007)
446 também encontraram associações semelhantes e as atribuíram como fatores decisivos em
447 prejudicar o processo de compostagem.

448 Se a umidade estiver muito alta, pode facilitar a compactação e o sistema se tornar
449 anaeróbico (Bewley et al., 2013). Nesta condição a atividade microbiana é diminuída e pode
450 induzir à diminuição de temperatura. Por outro lado, a umidade excessiva da cama pode ser
451 reajustada pela adição de material seco (Black et al., 2014; Black et al., 2013; Leso et al.,
452 2013) ou pela redução da densidade animal na cama, o que implica em redução da
453 incorporação de dejetos na cama (Leso et al., 2013).

454 **pH**

455 Durante o processo de decomposição dos dejetos, alguns ácidos orgânicos são
456 produzidos e, ao longo do tempo são neutralizados pela constante incorporação de nitrogênio;
457 portanto, tem-se que o pH recomendado para compostagem é de 6,5 a 8,0 (NRAES-54, 1992).
458 No presente estudo, as médias de pH das camas mantiveram-se acima destes valores
459 recomendados para a compostagem de resíduos e, quando comparados a trabalhos que
460 avaliaram camas de sistemas de CB, as médias de pH também se mantiveram superiores,
461 tendo em vista os resultados obtidos por Radavelli (2018), Fávero et al. (2015) e Barberg et
462 al. (2007), que foram de 8,8, 8,9 e 8,5, respectivamente.

463 De acordo com Radavelli (2018), o aumento do pH da cama pode ser atribuído à
464 maior incorporação de nitrogênio no meio ou ao uso demasiado da cama. Por sua vez, a
465 menor permanência de animais sobre a cama e a constante reposição de serragem no inverno
466 são condições que podem estar associadas às menores médias de pH encontradas neste
467 trabalho, além de também ter sido evidenciado que as camas mais profundas estão associadas
468 a maiores valores de pH.

469 ***Profundidade, densidade, tamanho de partícula e capacidade de retenção de água***

470 Monitorar o tamanho médio de partículas, a densidade e a capacidade de retenção de
471 água da cama podem ajudar a identificar a condição de aeração e compactação da cama. Estes
472 índices são muito associados entre si, pois um fator está atrelado ao outro e vice-versa. Ainda,
473 estes parâmetros são muito dependentes da umidade do material, conforme também
474 observado por Fávero et al. (2015). Neste estudo, quando avaliadas as condições dos
475 diferentes grupos, as camas apresentaram respostas diferentes nas duas estações avaliadas. No
476 verão, os grupos 1 e 2 apresentaram camas com maior quantidade de partículas inferiores a 2
477 mm, enquanto que para o grupo 3, as partículas maiores que 9,50 mm foram encontradas em
478 maior quantidade. Vale ressaltar que, devido à menor profundidade das camas do grupo 3,
479 muitas vezes a coleta era provida de pedriscos, os quais podem ter induzido a uma maior
480 quantidade de partículas cujas granulometrias eram maiores, como é o caso da peneira de 9,50
481 mm. Por este motivo, Janni et al. (2007) citam que profundidades mínimas de cama próximas
482 a 30 cm devem ser respeitadas. Ainda, no grupo 3 as camas não eram revolvidas, fazendo com
483 que não houvesse a quebra de partículas de cama maiores.

484 A proporção no tamanho das partículas da cama é importante para regular o acesso
485 microbiano à fonte de nutrientes (Bewley et al., 2013). De acordo com o NRAES-54 (1992), o
486 tamanho das partículas entre 3,20 a 5,10 mm resulta em ótima atividade de compostagem.
487 Tamanhos menores possuem maior área de contato com os microrganismos e facilitam o
488 aumento da taxa de decomposição aeróbica (Shane et al., 2010); entretanto, aumentam as
489 chances de compactação da cama (NRAES-54, 1992). Neste estudo foi encontrada uma
490 associação negativa entre os tamanhos menores de partícula e a densidade da cama,
491 confirmando que nestas condições pode haver compactação da cama mais facilmente. Por sua
492 vez, tamanhos grandes limitam o acesso ao carbono a ser utilizado pelos microrganismos,
493 porém reduzem as chances de compactação.

494 Segundo Radavelli (2018), é importante a utilização de materiais de cama com
495 tamanhos de partícula heterogêneos, porém com distribuição próxima entre seus tamanhos de
496 partícula, como também afirma Damasceno (2012). Os materiais de cama utilizados nas

497 fazendas do presente estudo eram serragem e aparas de madeira associados ou, em alguns
498 casos apenas serragem, variando conforme a disponibilidade do material.

499 As partículas menores apresentam maior capacidade de retenção de água, e esta
500 relação pode ser acentuada quando há alto teor de umidade na cama e, de acordo com
501 Damasceno (2012) e Kim et al. (2016), isso acontece porque a compactação do material fica
502 facilitada. Neste sentido, a falta de aeração do material pode favorecer a formação de
503 microespaços anaeróbicos e restringir o movimento da água devido à perda de integridade
504 intersticial, ou porosidade (NRAES-54, 1992; Wolf, 2017). De acordo com Bewley et al.
505 (2012), a capacidade de retenção de água para um correto funcionamento da cama de um CB
506 é de 72%. A maior retenção de água para o grupo 2 no inverno pode ter ocorrido devido ao
507 maior teor de umidade verificado na cama durante esta estação climática. Segundo Ahn et al.
508 (2008), a umidade promove a maior agregação de partículas e, então diminuiu a porosidade e
509 aumenta a retenção de água. Neste trabalho, as camas mais densas tiveram maior capacidade
510 de retenção de água e, quanto maior era a capacidade de retenção de água, maior era a
511 porcentagem de retenção de cama na peneira de 9,50 mm e na porção de fundo.

512 A densidade da cama reflete a proporção entre o peso do material em relação ao
513 volume do material em processo de compostagem. Damasceno (2012) encontrou menor
514 proporção de porosidade da cama quando a densidade aparente foi elevada. Portanto, o
515 adequado revolvimento do composto é capaz de aumentar o fluxo de ar no material, o qual
516 facilita a percolação de água nos microporos aeróbicos e favorece a perda de umidade para o
517 ambiente e, neste sentido o processo de compostagem é favorecido (Kim et al., 2016). Para os
518 grupos em que a cama era revolvida (G1 e G2), foram encontradas menores densidades da
519 cama. Todavia, as médias encontradas neste estudo foram maiores do que aquelas relatadas
520 por Radavelli (2018) e Fávero et al. (2015), de 618,70 kg/m³ e de 372,67 a 526,17 kg/m³,
521 respectivamente.

522 Galama (2011) recomenda que seja mantida a profundidade mínima de 50 cm para a
523 cama. Esta exigência é baseada na premissa de que o composto tem que dissipar calor para o
524 ambiente, em condições estáticas ou durante o seu revolvimento (Leso et al., 2013; Wolf,
525 2017). Outra vantagem com a manutenção da cama profunda é a possibilidade de armazenar o
526 dejetos por períodos mais longos, desde que a cama seja bem manejada. De acordo com Leso
527 et al. (2013), as profundidades de cama dos grupos 1 e 2 são adequadas por estarem próximas
528 a 40 cm, entretanto, exigem manejo eficiente para manter a cama em condições de umidade
529 adequadas, sobretudo durante o inverno.

530 ***Distribuição espacial da temperatura e umidade das camas***

531 A variação diurna da temperatura de cama encontrada entre os 20 pontos de avaliação
532 sugere que a atividade microbiana variou mesmo dentro de um único sistema de
533 compostagem e ainda, foi menor no inverno. Possivelmente este resultado é decorrente das
534 variações de manejo, carga de dejetos ou ocupação animal.

535 Foram encontradas maiores temperaturas de cama nos grupos 1 e 2 devido ao
536 revolvimento constante do material de cama, alturas de pé-direito favoráveis às trocas de ar no
537 interior da instalação e constante entrada e homogeneização de nutrientes no interior da cama.
538 Além disso, ficou evidente que os locais de maior preferência na ocupação dos animais
539 resultavam em maior temperatura de cama.

540 Para as propriedades do G1, na extremidade próxima aos bebedouros, a cama era mais
541 fria e mais úmida no verão e no inverno. Todas as instalações do G1 eram construídas na
542 orientação solar Norte-Sul, e esta característica foi associada à um aumento na temperatura de
543 cama na extremidade oposta à da pista de alimentação, aonde a cama recebia maior radiação
544 solar durante o dia e permanecia mais seca, esta característica era mais evidente no verão. Nas
545 localidades próximas à saída da ordenha das propriedades 1 e 3 a cama era mais úmida e
546 menos quente, esta relação não foi encontrada na propriedade 2 porque ela não possuía a sala
547 de ordenha anexa à área de cama. As menores temperaturas de cama na propriedade 1 são
548 associadas à alta umidade relativa do ar característica para aquela região. De modo geral, a
549 umidade da cama foi associada a sua temperatura. No inverno a cama possuía menor taxa de
550 secagem e foi associada a menor alcance de temperatura, evidente em todos os pontos
551 avaliados.

552 Uma das extremidades da cama da propriedade 2 se mostrou mais fria, esta área era
553 um ponto de acesso à pista de alimentação e permanecia sobreada constantemente devido ao
554 beiral ser maior, ambos os fatores podem ter levado à dificuldade no aquecimento. Também
555 ficou evidente que na propriedade 3, aonde os animais se aglomeravam próximo ao sistema de
556 ordenha robotizado a cama se mantia mais úmida e menos aquecida. Por sua vez, na
557 extremidade oposta, os animais pouco ocupavam a área pelo período diurno, com isso, foi
558 observado uma grande diferença com relação à temperatura e maior taxa de secagem, tendo
559 em vista que a ventilação mecânica incidia diretamente sobre a superfície da cama.

560 Nas propriedades pertencentes ao Grupo 3 é importante evidenciar que quando a
561 orientação solar era Leste-Oeste a umidade e a temperatura de cama não foram influenciadas
562 pela maior incidência solar no interior da instalação. Por sua vez, a propriedade 3, que tinha
563 orientação solar Norte-Sul, possuía um pé-direito de 3 m de altura, que dificultava a
564 incidência de luz solar diretamente sobre a cama. Mas, esta característica dificultava a

565 ventilação no interior do galpão, por este motivo foram encontradas baixas temperaturas de
566 cama em relação às demais propriedades. A cama da propriedade 2 tinha uma extremidade
567 mais fria e úmida em relação às demais, devido a ser o local de saída dos animais para a pista
568 de alimentação e menos ocupado.

569 A baixa oscilação da temperatura de cama do G3 pode ser justificada pelos animais
570 permanecerem mais tempo em pastejo do que sobre o sistema de CB (Barberg et al., 2007).
571 Além disso, a ausência de ventilação mecânica e a baixa altura de pé-direito podem
572 influenciar na menor perda de umidade e aumento da temperatura de cama.

573 De modo geral, os locais próximos às pistas de alimentação ou saída da sala de
574 ordenha de todos os grupos avaliados, eram locais de maior eliminação de dejetos por parte
575 dos animais alojados no sistema. Esta situação favorecia alguns pontos específicos de
576 dificuldade na secagem e conseqüente aumento de temperatura.

577 Mota et al. (2019b) estudaram as variações na temperatura de cama por meio de mapas
578 de krigagem no verão e no inverno, aos 0,15 m de profundidade. Os autores encontraram uma
579 menor temperatura média da cama no verão, diferentemente do que aconteceu neste estudo.
580 De acordo com Eckelkamp et al. (2016) a temperatura da cama aumenta concomitante ao
581 aumento da temperatura do ar, e esta associação conduz o processo de secagem da cama por
582 meio da perda de água por processo evaporativo. Por estas razões, o teor de umidade da cama
583 diminui durante o verão (Eckelkamp et al., 2016) e aumenta no inverno (resultante da maior
584 umidade relativa do ar) (Bewley et al., 2013), semelhante ao resultado deste estudo.

585 A estrutura do alojamento deve fornecer trocas de ar suficientes para a remoção de
586 umidade, calor e gases produzidos pela cama (Taraba, 2019). A umidade não variou entre os
587 pontos da cama, mas a maior taxa de secagem em alguns pontos da cama pode ter
588 influenciado no aumento de sua temperatura, fato que pode ser observado nas imagens
589 comparativas entre a umidade e temperatura da cama, em mesma estação do ano. Entretanto, a
590 localização dos pontos nos mapas foi evidenciada pela metodologia adotada para a sua
591 produção. Mota et al. (2019b) também observaram ilhas de maior temperatura na cama, mas
592 não relacionaram estes fenômenos com características do sistema. A ineficiência do processo
593 de compostagem pode ser verificada pelo excesso de umidade com teores maiores que 60% e
594 temperaturas mais amenas, inferiores a 40°C (Black et al., 2013; Albino et al., 2018).

595 Mota et al. (2019b) e Peixoto (2019) observaram temperaturas de cama mais baixas
596 aonde o sol não era predominante, o que indicava que a posição da instalação ou o
597 comprimento do beiral influenciavam na homogeneidade da temperatura da cama. Todavia,
598 em locais onde a radiação solar incidia sobre a cama, frequentemente a temperatura da cama

599 era superior e, segundo vários autores, esta condição é favorável na manutenção do sistema de
600 compostagem (Bewley et al., 2013; Black et al., 2014; Eckelkamp et al., 2016). Entretanto,
601 esta condição contradiz com a indicação de construir o estábulo na orientação leste/oeste, a
602 qual minimiza a entrada de luz solar no interior do estábulo e que pode prejudicar o conforto
603 térmico dos animais (Bewley et al., 2013). Por este motivo, é importante que outras técnicas
604 de manejo sejam implementadas para minimizar as flutuações na temperatura de cama. Além
605 disso, a menor temperatura de cama foi associada ao menor revolvimento da cama (Mota et
606 al., 2019b).

607 *Variáveis dos animais*

608 Alguns parâmetros fisiológicos como a frequência respiratória e a temperatura
609 superficial são capazes de prever o estresse térmico de bovinos leiteiros (Bianca e Kunz,
610 1978; Salles et al., 2016; Dalcin et al., 2016). As médias encontradas para a FR são
611 semelhantes às relatadas por Lobeck et al. (2011), que encontraram médias de 58,4 mov min⁻¹
612 em CB, 57,5 mov min⁻¹ para *freestall* com sistema de ventilação cruzada, e 59,3 mov min⁻¹
613 para galpões de ventilação natural localizados em um estado americano.

614 O grupo 1 era composto por estábulos de grande porte e altura de pé-direito acima de
615 4,4 metros. Todos possuíam ventilação mecânica, no entanto o seu uso era limitado em uma
616 das fazendas. Na propriedade 2, foi observado o acionamento da ventilação mecânica apenas
617 durante alguns períodos estratégicos do verão e não constantemente. Ainda, a propriedade do
618 G1 possuía sistema de ordenha robotizada e era comum a aglomeração dos animais em
619 regiões próximas ao robô, condição que pode ter influenciado a maior frequência respiratória.
620 Todavia, os animais alojados nos estábulos do G3 permaneciam a maior parte do tempo pré-
621 dispostos às intempéries ambientais.

622 A frequência respiratória é uma das melhores variáveis fisiológicas para estimar a
623 tolerância dos animais ao calor (Bianca e Kunz, 1978) e pode indicar estresse por calor;
624 principalmente durante os períodos mais quentes (Pilatti et al., 2018). Todavia, a frequência
625 respiratória é muito influenciada pelo nível de estresse térmico a que os animais estão
626 submetidos (Lobeck et al., 2011), seja ele monitorado por meio do ITU ou ITGU. De modo
627 geral, a frequência respiratória foi maior no verão que, por sua vez foi representado por maior
628 ITGU. Em trabalho de Dalcin et al. (2016), a FR aumentou linearmente a partir do ITGU de
629 72.

630 As médias da temperatura superficial encontradas para os diferentes grupos e estações
631 do ano estão de acordo com o intervalo reportado por Radavelli (2018), de 36 a 23,5°C para a
632 mesma região estudada. De acordo com Martello et al. (2010), assim como a frequência

633 respiratória, a temperatura superficial também segue as variações de temperatura do ar ao
634 longo do dia e tem potencial para ser usado como indicativo do estresse térmico vacas
635 leiteiras em lactação.

636 *Minerais da cama*

637 A faixa de relação entre C:N recomendada para manter um processo de compostagem
638 ótimo é de 25: 1 a 30: 1 (NRAES-54, 1992; Bewley et al., 2013). Por sua vez, menores
639 relações entre C:N indicam o excesso de nitrogênio no meio ou a falta de carbono. De acordo
640 com Black et al. (2013) a maioria dos dejetos contém concentrações de nutrientes suficientes
641 para satisfazer as necessidades das culturas; entretanto, testar a concentração de nutrientes no
642 solo para determinar o conteúdo de nutrientes pode ser benéfico, para que não sejam
643 excessivamente ou insuficientemente aplicados. Assim como apresentado por Janni et al.
644 (2007), a composição de nutrientes das camas mostra o potencial de utilização deste material
645 como adubo para produção vegetal. Segundo Taraba (2019) o armazenamento de esterco pode
646 ser realizado pelo período de um ano ou mais, dependendo do uso da cama ou da taxa de
647 lotação adotada. A flexibilidade de armazenamento permite o maior acúmulo de nutrientes
648 para atender às condições de campo e suprir as necessidades de nutrientes.

649 *Variáveis climáticas*

650 O CB deve ser projetado para manter as condições de conforto, independente da
651 estação do ano, da região geográfica ou do horário do dia. Para isso, existem orientações
652 quanto à implementação do estábulo, prevendo a instalação de equipamentos e aspectos
653 construtivos que auxiliem no acondicionamento térmico. Dentre estas, cita-se a altura do pé-
654 direito, que deve alcançar no mínimo 4,8 metros, a presença de lanternins, ventilação
655 mecânica caso a natural não seja suficiente, e a construção com base na orientação solar
656 leste/oeste (Bewley et al., 2013).

657 Peixoto et al. (2019) ressaltam que a temperatura do ar no interior do estábulo pode
658 variar conforme o comprimento dos beirais, que impacta na eficiência em mitigar a entrada de
659 radiação solar, bem como na eficiência da ventilação mecânica. Ainda, Damasceno et al.
660 (2019) encontraram variações na distribuição espacial da temperatura, velocidade do ar e
661 umidade relativa do ar no interior de galpões climatizados.

662 De acordo com André et al. (2011) o efeito do estresse térmico depende da situação
663 específica de cada propriedade, ainda, o efeito do estresse térmico pode ser mensurado com
664 base na perda estimada da produção de leite. Os mesmos autores sugerem que a temperatura
665 crítica para manter condições de conforto é $17,8 \pm 0,56^{\circ}\text{C}$. Temperaturas ambientes em
666 desacordo ao intervalo adequado podem causar estresse térmico em vacas leiteiras (Lamp et

667 al., 2015). Ainda, Damasceno et al. (2019) indicam que as trocas de calor entre os animais e o
668 meio ambiente são prejudicadas quando a umidade relativa do ar permanece acima de 70%,
669 condição que dificulta a dissipação de calor na forma latente.

670 Pilatti et al. (2018) observaram que a temperatura do ar interna de CB localizados em
671 região subtropical aumentou ao longo do dia, mas se manteve na média de 25,25°C durante o
672 período avaliado (setembro a fevereiro). Em contrapartida, a umidade relativa do ar se
673 manteve em 69%, e decresceu para 60% às 15:00 h, com intervalos entre 91 a 30% ao longo
674 do dia.

675 Peixoto et al. (2019) também encontraram relação inversa entre a temperatura do ar e a
676 umidade relativa do ar no início da tarde, no entanto, foi mais evidente por se tratar de um
677 estudo realizado nas condições da região Nordeste, e nos períodos seco e chuvoso. Estas
678 associações são relacionadas ao natural aumento da radiação solar até atingir seu ponto
679 máximo próximo às 14:00 h, pelo posicionamento do sol, mais perpendicular, em relação ao
680 horizonte (Fiorelli et al., 2010).

681 Nas duas estações do ano e em todos os grupos estudados, as curvas de ITGU interno
682 e externo foram aumentadas a partir das 7:00 h e decresceram a partir das 17:00 h. Todavia,
683 foi evidente que neste período o ITGU externo se manteve maior em relação ao interno.
684 Ainda, após às 17:00 h as curvas do ITGU interno e externo tenderam a se igualar devido à
685 ausência da radiação solar (Buffington et al., 1981). Mota et al. (2019a) também observaram
686 aumento do ITGU no período da tarde em consequência ao aumento da temperatura do ar para
687 as mesmas duas estações analisadas neste estudo. Houve também uma pequena elevação
688 destes índices no verão em relação ao inverno, refletindo a alteração climática, como também
689 observado por Mota et al. (2019a).

690 Baêta e Souza (2010) sugerem que valores de ITGU até 74 proporcionam conforto
691 térmico, entre 74 e 78, situação de alerta e acima disto, situação alarmante. Neste sentido, em
692 geral as vacas se encontraram em situação de conforto no interior das instalações durante o
693 inverno. Todavia, era comum a situação alarmante no período das 12:00 às 17:00 h do verão.
694 De acordo com Polsky e von Keyserlingk (2017) algumas alterações nas estratégias de
695 alojamento e gestão, como o uso de tecnologias de ventilação mecânica ou sua associação
696 com nebulizadores são capazes de mitigar situação de estresse por calor.

697 As instalações foram eficientes em minimizar a incidência solar direta sobre os
698 animais, justificado pelo menor ITGU interno, independente da estação do ano. No entanto, as
699 técnicas de manejo utilizadas não foram suficientes para promover conforto térmico nas duas
700 estações estudadas, sendo ineficaz no verão uma vez que o ITGU se apresentou acima de 74

701 em alguns períodos do dia, para todos os grupos estudados. Segundo Black et al. (2013) e
702 Mota et al. (2019a), a temperatura e a umidade relativa do ar são aspectos de maior
703 dificuldade de controle; contudo, o produtor pode manipular a velocidade do ar e a radiação
704 solar interna do galpão, minimizando situações de desconforto térmico.

705 A melhor dinâmica de compostagem foi encontrada em CB denominados
706 convencionais (independentemente de seu tamanho) e nos adaptados para este fim,
707 especialmente no verão. Evidencia-se que o adequado funcionamento e a longevidade do
708 sistema CB dependem de manejos diários adotados de forma constante, principalmente o
709 revolvimento da cama.

710 **LITERATURA CITADA**

711 Ahn H. K., T. L. and Richard, T. D. Glanville. 2008. Optimum moisture levels for
712 biodegradation of mortality composting envelope materials. *Waste Manag.* 28:1411-1416.
713 doi: 10.1016/j.wasman.2007.05.022.

714 Albino, R. L., J. L. Taraba, M. I. Marcondes, E. A. Eckelkamp, J. M. Bewley. 2017.
715 Comparison of bacterial populations in bedding material, on teat ends, and in milk of cows
716 housed in compost bedded pack barns. *Ani. Prod. Sci.* 58:1686-1691.

717 André, G., B. Engel, P. B. M. Berentsen, Th. V. Vellinga, A. G. J. M. Oude Lansink. 2011.
718 Quantifying the effect of heat stress on daily milk yield and monitoring dynamic changes
719 using an adaptive dynamic model. 94:4502-4513. doi: 10.3168/jds.2010-4139.

720 Autocad, versão 2015. Autodesk Inc.

721 Barberg, A. E., M. I. Endres, and K. A. Janni. 2007. Compost dairy barns in Minnesota: a
722 descriptive study. *Appl Eng Agric.* 23:231-238. doi: 10.13031/2013.22606.

723 Baêta, F. C., C. F. Souza. 2010. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2th. ed.
724 UFV, Viçosa. 269p.

725 Bewley, J. M., J. L. Taraba, G. B. Day, and R. A. Black. 2012. Compost bedded pack barn
726 design features and management considerations. Cooperative Extension Publ. ID-206,
727 Cooperative Extension Service, University of Kentucky College of Agriculture, Lexington
728 KY, 150p.

729 Bewley, J. M., J. L. Taraba, D. Mcfarland, P. Garrett, R. Graves, B. Holmes, D. Kammel, J.
730 Porter, J. Tyson, S. Weeks, and P. Wright. 2013. *Guidelines for managing compost
731 bedded-pack barns*. The Dairy Practices Council.

732 Bianca, W., P. Kunz. 1978. Physiological reactions of three breeds of goats to cold, heat and
733 high altitude. *Livest. Prod. Sci.* 5:57-69. doi: 10.1016/0301-6226(78)90007-6.

- 734 Black, R. A., J. L. Taraba, G. B. Day, F. A. Damasceno, and J. M. Bewley. 2013. Compost
735 bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. *J. Dairy Sci.*
736 96:8060-8074. doi: 10.3168/jds.2013-6778.
- 737 Black, R. A., J. L. Taraba, G. B. Day, F. A. Damasceno, M. C. Newman, K. A. Akers, C. L.
738 Wood, K. J. McQuerry, and J. M. Bewley. 2014. The relationship between compost
739 bedded pack performance, management, and bacterial counts. *J. Dairy Sci.* 97:2669-2679.
740 doi: 10.3168/jds.2013-6779.
- 741 Brasil. 2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos
742 analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos /
743 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária.
744 Brasília. 220p.
- 745 Buffington, D. E., A. Collazo-Arocho, G. H. Canton, D. Pitt, W. W. Thatcher, and R. J.
746 Collier. 1991. Black globe humidity index as a comfort equation for dairy cows. *ASAE.*
747 24:711-714.
- 748 Carmo, D. L., and C. A. Silva. 2012. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica
749 em resíduos orgânicos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 36:1211-1220. doi: 10.1590/S0100-
750 06832012000400015.
- 751 Dalcin, V. C., V. Fischer, D. S. Daltro, E. P. M. Alfonzo, M. T. Stumpf, G. J. Kolling, M. V.
752 G. B. da Silva, and C. McManus. 2016. Physiological parameters for thermal stress in
753 dairy cattle. *R. Bras. Zootec.* 45:458-465.
- 754 Damasceno, F. A. 2012. Compost bedded pack barns system and computational simulation of
755 airflow through naturally ventilated reduced model. Tese. Engenharia agrícola.
756 Universidade Federal de Viçosa.
- 757 Damasceno, F. A., C. E. A. Oliveira, G. A. S. Ferraz, J. A. C. 2019. Nascimento, M. Barbari,
758 and P. F. P. Ferraz. Spatial distribution of thermal variables, acoustics and lighting in
759 compost dairy barn with climate control system. *Agronomy Research.* 17:385-395.
- 760 Diaz, L. F., M. Bertoldi, W. Bidlingmaier, and E. Stentiford. 2007. *Compost Science and*
761 *Technology.* Chapter 4 Factors that Affect the Process, 8:49-64.
- 762 Eckelkamp, E. A., J. L. Taraba, K. A. Akers, R. J. Harmon, and J. M. Bewley. 2016.
763 Understanding compost bedded pack barns: Interactions among environmental factors,
764 bedding characteristics, and udder health. *Livest. Sci.* 190:35-42.
765 doi:10.1016/j.livsci.2016.05.017.
- 766 Fávero, S., F.V. R. Portilho, A. C. R. Oliveira, H. Langoni and J. C. F. Pantoja. 2015. Factors
767 associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial

- 768 concentrations in dairy herds housed on compost bedding. *Livest. Sci.* doi:181:220-230.
769 doi:10.1016/j.livsci.2015.09.002.
- 770 Fiorelli, J., R. Fonseca, J. A. B. Morceli, and A. A. Dias. 2010. Influence of different roofing
771 materials on the thermal comfort of facilities for broiler chickens in western of São Paulo.
772 *Rev. Eng. Agr.* 30:986-992.
- 773 Galama, P. 2011. Prospects for bedded pack barns for dairy cattle. *Livestock Research,*
774 *Wageningen, UR.*
- 775 Galama, P. 2014. On farm development of bedded pack dairy barns in the Netherlands.
776 *Wageningen UR Livestock Research.*
- 777 ISO 11465. 1993. Soil Quality – Determination of dry matter and water content on a mass
778 basis – Gravimetric method. International Organization for Standardization. Geneva,
779 Switzerland. 3p.
- 780 Janni, K. A., M. I. Endres, J. K. Reneau, and W. W. Schoper. 2007. Compost dairy barn
781 layout and management recommendations. *Appl. Eng. Agric.* 23:97-102.
- 782 Liang, C., K. C. Das, and R. W. McClendon. 2003. The influence of temperature and
783 moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting
784 blend. *Bioresour. Technol.* 86:131-137. doi:10.1016/S0960-8524(02)00153-0.
- 785 Jakob, A. A. E., A. F. Young. 2006. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas
786 análises sociodemográficas. In. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP.
787 Caxambu, MG: UNICAMP.
- 788 Johnson, H. D., A. C. Ragsdale, I. L. Berry, and M. D. Shanklin. 1962. Effect of various
789 temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. *Research.*
790 *Bulletin. Missouri Agricultural. Experimental. Station,* 791p.
- 791 Jobim, C. C., L. G. Nussio, R. A. Reis, and P. Schmidt. 2007. Avanços metodológicos na
792 avaliação da qualidade da forragem conservada. *R. Bras. Zootec.* 36:101-119.
- 793 Klaas, I. C., B. Bjerg, S. Friedmann, and D. Bar. 2010. Cultivated barns for dairy cows: An
794 option to promote cattle welfare and environmental protection in Denmark? *Dansk*
795 *Veterinærtidsskrift.* 93:20-29.
- 796 Kim, E., D. H. Lee, S. Won and H. Ahn. 2016. Evaluation of optimum moisture content for
797 composting of beef manure and bedding material mixtures using oxygen uptake
798 measurement. *Ásia-Australas J. Anim. Sci.* 29:753-758. doi:10.5713/ajas.15.0875.
- 799 Lamp, O., M. Derno, W. Otten, M. Mielenz, G. Nürnberg, and B. Kuhla. 2015. Metabolic
800 heat stress adaption in transition cows: differences in macronutrient oxidation between

- 801 late-gestating and early-lactating German holstein dairy cows. Plos one. 10:1-5.
802 doi:10.1371/journal.pone.0125264
- 803 Leso, L., M. Uberti, W. Morshed, and M. Barbari. 2013. A survey on Italian compost dairy
804 barns. J. Agric. Eng. 44:203-207. doi:10.4081/jae.2013.s2.e40.
- 805 Lobeck, K. M., M. I. Endres, E. M. Shane, S. M. Godden, and J. Fetrow. 2011. Animal
806 welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy barns in
807 the upper Midwest. J. Dairy Sci. 94:5469-5479. doi:10.3168/jds.2011-4363.
- 808 Martello, L. S., J. H. Savastano, S. L. Silva, S. and J. C. C. 2010. Balieiro. Alternative body
809 sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their
810 relationship to the thermal discomfort of the animals. Int. J. Biometeorol. 54:647-652.
811 doi:10.1007/s00484-009-0268-6.
- 812 Montanholi, Y. R., N. E. Odongo, K. C. Swanson, F. S. Schenkel, B. W. McBride, and S. P.
813 Miller. 2008. Application of infrared thermography as an indicator heat and methane
814 production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events
815 in dairy cattle (*Bos taurus*). J. Therm. Biol. 33:468-475.
816 doi:10.1016/j.jtherbio.2008.09.001.
- 817 Mota, V. C., E. T. De Andrade, and D. F. Leite. 2019a. Caracterização da variabilidade
818 espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento Compost Barn.
819 Pubvet. 13:1-14. doi:10.31533/pubvet.v13n3a276.1-14.
- 820 Mota, V. C., E. T. De Andrade, and D. F. Leite. 2019b. Bed temperature in compost barns
821 turned with rotary hoe and offset disc harrow. Eng. Agric. 39:280-287. doi:10.1590/1809-
822 4430-eng.agric.v39n3p280-287/2019
- 823 NRAES-54. 1992. On-Farm Composting Handbook. Natural Resource, Agriculture, and
824 Engineering Service, Ithaca, N.Y.
- 825 Peixoto, M. S. M., J. A. D. Barbosa Filho, N. A. Farias Machado, V. D. S. S. Viana, J. F. M.
826 Costa. 2019. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature
827 variations in Compost barn systems. Biol. Rhythm. Res. doi:10.13031/2013.22333.
- 828 Pilatti, J. A., F. M. C. Vieira, F. Rankrape, and E. S. Vismara. 2018. Diurnal behaviors and
829 herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot
830 and humid conditions. Animal. 13:399-406. doi:10.1017/S1751731118001088.
- 831 Polsky, L. and M. A. G. Von Keyserlingk. 2017. Invited review: Effects of heat stress on
832 dairy cattle welfare. J. Dairy Sci. 100:8645-8657. doi:10.3168/jds.2017-12651.
- 833 Qgis Development Team. 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source
834 Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

- 835 Radavelli, M. R. 2018. Caracterização do sistema compost barn em regiões subtropicais
836 brasileiras. Dissertação. Mestrado em Zootecnia. Universidade do Estado de Santa
837 Catarina.
- 838 Silva, D. J., A. C. Queiroz. 2002. Análise de alimentos – Métodos químicos e biológicos. Ed.
839 UFV. Viçosa, Brasil.
- 840 Salles, M. S. V., S. C. Da Silva, F. A. Salles, L. C. Roma Jr, L. El Faro, P. A. B. M. Lean, C.
841 E. L. De Oliveira, and L. S. Martello. 2016. Mapping the body surface temperature of
842 cattle by infrared thermography. *J. Therm. Biol.* 62:63-69.
843 doi:10.1016/j.jtherbio.2016.10.003.
- 844 Shane, E. M., M. I. Endres, D. G. Johnson, and J. K. Reneau. Alternative bedding materials
845 for compost bedded pack barns in Minnesota: descriptive study. *Appl. Eng. Agric.*
846 26:659-666. 2010. doi:10.13031/2013.29952.
- 847 Taraba, J. L. 2019. Current and future of compost bedded pack barns in North America. In:
848 ADSA® Annual Meeting, Cincinnati, Ohio.
- 849 Wolf, K. 2017. A portable sensor for measuring gas emissions from dairy compost bedded
850 pack barns. These. Biosystems and Agricultural Engineering. University of Kentucky.

851 **Tabela 1.** Características quantitativas e qualitativas das fazendas leiteiras que utilizavam o *Compost Barn* (CB) enquadradas nos grupos 1, 2 e 3
 852 (G1, G2 e G3), localizadas na região Subtropical do Brasil, avaliadas no experimento (n=9).

Grupo	Propriedade	Altura de pé-direito; m	Ventilador; quantidade, potência ¹	Local da pista de alimentação	Disponibilidade de bebedouros ²	Taxa de lotação; m ² /animal	Número de animais	Frequência de ordenhas; vezes por dia
G1 ³	1	5,70	5, 2,5 CV	Lateral	14,34	10,78	83	2
	2	6,46	6, 2,0 CV	Lateral	19,51	24,56	61	2
	3	4,40	16, 2,0 CV	Lateral	7,31	12,18	123	Robotizada
G2 ⁴	1	CB1: 6,00 CB2: 4,15	5, 2,0 CV	Lateral	9,1	16,76	70	3
	2	6,00	4, 1,5 CV	Lateral	24,46	28,27	52	3
	3	3,00	4, 2,0 CV	Lateral	6,11	16,44	73	2
G3 ⁵	1	CB1: 2,45; CB2: 2,45	-	Central	9,62	9,06	26	2
	2	CB1; CB2: 3,20	-	Central	4,5	3,39	32	2
	3	4,78	-	Outra instalação	6,11	8	60	2

853 ¹potência em cavalo-vapor

854 ²centímetros lineares por animal.

855 ³G1 = composto por CB convencionais de grande porte.

856 ⁴G2 = composto por CB convencionais ou adaptados.

857 ⁵G3 = composto por CB de utilização parcial.

858

859 **Tabela 2.** Características da cama de Compost Barns em região Subtropical do Brasil, divididos em 3 grupos (Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3) e duas
860 estações do ano (verão e inverno).

Variáveis	Grupo			Estação climática		Valores de <i>P</i>		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Inverno	Verão	Grupo	Estação	Interação
Temperatura; °C	37,39±6,62b	40,01±4,51a	26,18±3,98c	32,12±7,55b	36,55±7,77a	<0,05	<0,05	NS
Umidade; %	51,97±10,14	47,75±7,17	55,34±7,28	54,62±6,67	48,88±10,01	<0,05	<0,05	<0,05
pH	9,53±0,27b	9,75±0,23a	9,27±0,48c	9,39±0,39b	9,62±0,37a	<0,05	<0,05	NS
Capacidade de retenção de água; %	52,75±9,97	52,01±6,34	59,77±6,06	56,96±8,13	52,82±8,35	<0,05	<0,05	<0,05
Granulometria; %								
9,50	42,22±23,78	45,62±12,57	57,09±15,88	48,53±17,47	48,40±21,34	<0,05	NS	<0,05
4,75	14,81±3,98ab	16,60±3,14a	14,05±4,42b	14,83±4,31a	15,34±3,71a	<0,05	NS	NS
2,00	11,88±4,18ab	13,43±2,46a	10,44±3,47b	12,15±3,51a	11,46±3,84a	<0,05	NS	NS
Fundo	31,09±25,71	24,35±11,22	18,42±13,13	24,49±19,59	24,81±18,12	<0,05	NS	<0,05
Densidade; kg/m ³	685,71±258,19b	702,70±105,08b	851,03±186,92a	748,06±224,96a	752,12±193,12a	<0,05	NS	NS
Profundidade; cm	34,22±17,63b	39,28±8,10a	20,29±6,46c	31,31±11,20a	30,38±17,32a	<0,05	NS	NS

861 Ns = Não significativo; Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem-se entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

862

863 **Tabela 3.** Frequência respiratória das vacas alojadas em Compost Barns localizados em região Subtropical do Brasil, divididos em 3 grupos
 864 (Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3) e duas estações do ano (verão e inverno).

Variáveis	Grupo			Estação climática		Valores de <i>P</i>		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Inverno	Verão	Grupo	Estação climática	Interação
Frequência respiratória	54,46±17,78 ^a	43,51±13,98 ^b	55,11±19,08 ^a	40,85±12,13 ^b	63,67±15,29 ^a	<0,05	<0,05	NS

865 Médias seguida por letras minúsculas diferentes, diferem-se pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

866

867 **Tabela 4.** Caracterização dos macrominerais (C, N, P, K e Ca) e microminerais (Mg, Zn, Cu, Mn e Fe) e relação Carbono Nitrogênio da cama de
 868 nove Compost Barns localizados em região Subtropical do Brasil, divididos em 3 grupos (Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3) e duas estações do ano
 869 (verão e inverno).

Nutriente	Grupo 1				Grupo 2				Grupo 3			
	Inverno		Verão		Inverno		Verão		Inverno		Verão	
	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude
C; %	52,7 ±24,9	69,7 - 24,2	53,7 ±3,6	56,6 - 49,7	62,2 ±2,8	63,8 - 59,0	54,7 ±3,4	57,1 - 52,3	57,8 ±5,8	61,8 - 51,2	58,9 ±1,3	60,4-58,0
N; %	1,5 ±0,5	2,1 - 1,2	4,7 ±0,6	5,2 - 4,1	3,3 ±1,1	4,6 - 2,6	5,1 ±0,1	5,1 - 5,0	2,0 ±0,6	2,6 - 1,5	3,9 ±1,1	5,1 - 3,1
C:N	35,4 ±18,0	54,1 - 18,2	11,5 ±1,7	13,4 - 10,2	20,0 ±6,2	24,8 - 13,0	10,8 ±0,9	11,4 - 10,2	31,1 ±10,5	40,2 - 19,6	15,9 ±3,7	19,0 - 11,8
P; %	0,6 ±0,2	0,8 - 0,4	2,3 ±0,1	2,4 - 2,1	1,7 ±0,8	2,5 - 0,9	3,0 ±0,1	3,1 - 2,9	0,9 ±0,2	1,1 - 0,7	2,1 ±0,8	2,7 - 1,2
K; %	0,5 ±0,3	0,9 - 0,2	1,5 ±0,4	1,9 - 1,1	0,8 ±0,3	1,0 - 0,4	1,2 ±0,3	1,5 - 1,0	1,2 ±0,5	1,7 - 0,7	1,9 ±0,8	2,6 - 1,1
Ca; %	1,5 ±0,3	1,7 - 1,2	2,4 ±0,0	2,5 - 2,4	1,8 ±0,2	2,0 - 1,6	2,8 ±0,1	2,9 - 2,8	1,5 ±0,4	1,9 - 1,2	2,0 ±0,3	2,2 - 1,7
Mg; mg/kg	0,1 ±0,0	0,2 - 0,1	0,4 ±0,2	0,6 - 0,3	0,4 ±0,2	0,5 - 0,2	0,4 ±0,0	0,4 - 0,4	0,2 ±0,1	0,3 - 0,1	0,6 ±0,2	0,8 - 0,3
Zn; mg/kg	140,0 ±70,0	220,0 - 90	460,0 ±554,3	1100,0- 130,0	183,3 ±25,2	210,0 - 160,0	1250,0 ±70,7	1300,0-1200,0	110,0 ±43,6	140,0-60,0	110,0 ±108,2	230,0-20,0
Cu; mg/kg	50,0 ±20	70,0 - 30	76,7 ±15,3	90,0 - 60,0	53,3 ±5,8	60,0 - 50,0	80,0 ±0	80,0 - 80,0	83,3 ±46,2	110,0-30,0	23,3 ±15,3	40,0 - 10,0
Mn; mg/kg	383,3 ±175,6	550,0 - 200	433,3 ±80,8	520,0 - 360,0	270,0 ±52,9	330,0-230,0	390,0 ±0	390,0-390,0	816,7 ±575,7	1340,0-200,0	363,3 ±253,8	570,0-80,0
Fe; mg/kg	12503,3 ±6460,7	19630,0 – 7030,0	15690,0 ±9391,4	24210,0 – 5620,0	11630,0 ±6825,6	19210,0 – 5970,0	16330,0 ±2036,5	17770,0 – 14890,0	30996,7 ±25861,9	57300,0 – 5600,0	9653,3 ±7094,3	14630,0 – 1530,0

870

871

872 **Tabela 5.** Correlações entre as variáveis da cama dos nove Compost Barns avaliados em região Subtropical do Brasil (divididos em 3 grupos e
873 duas estações do ano, verão e inverno).

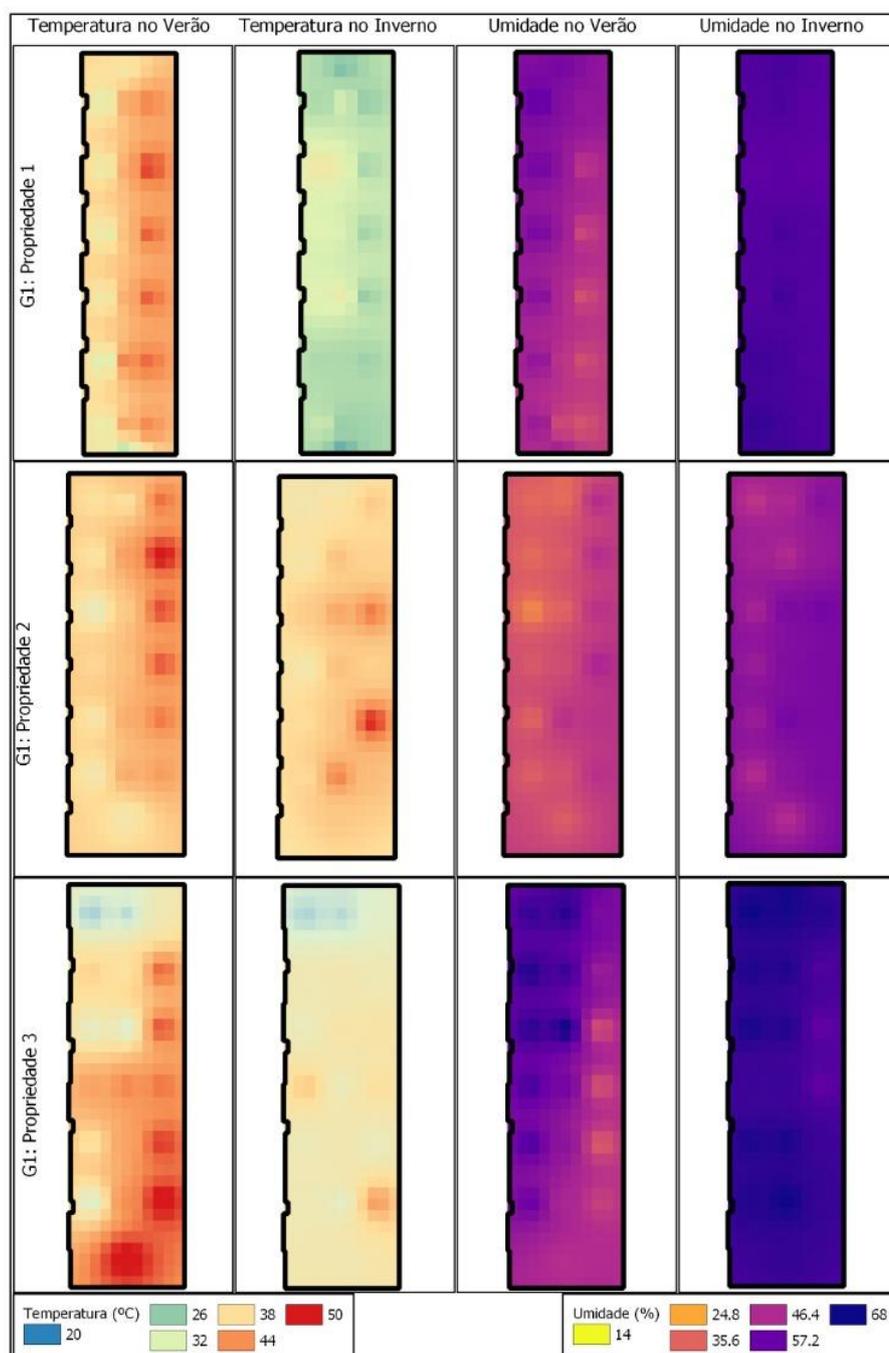
Parâmetros da cama	Temperatura	Umidade	pH	CRA	9,5¹	4,75¹	2¹	Fundo¹	Densidade	Profundidade
Temperatura		-0,41*	0,53*	-0,59*	-0,49*	0,13	0,34*	0,41*	-0,45*	0,39*
Umidade			-0,15	0,67*	0,52*	0,15	-0,22*	-0,52*	0,27*	0,21*
pH				-0,12	-0,02	0,30*	0,24*	-0,09	0,04	0,35*
CRA					0,78*	0,16	-0,16	-0,80*	0,65*	0,14
9,50¹						-0,01	-0,46*	-0,93*	0,67*	0,18*
4,75¹							0,64*	-0,33*	0,03	0,19*
2,00¹								0,14	-0,15	0,09
Fundo¹									-0,67*	-0,24*
Densidade										0,01

874 ¹Valores relativos as malhas das peneiras, em mm, utilizadas para avaliação da granulometria das partículas das camas dos *Compost Barns*.

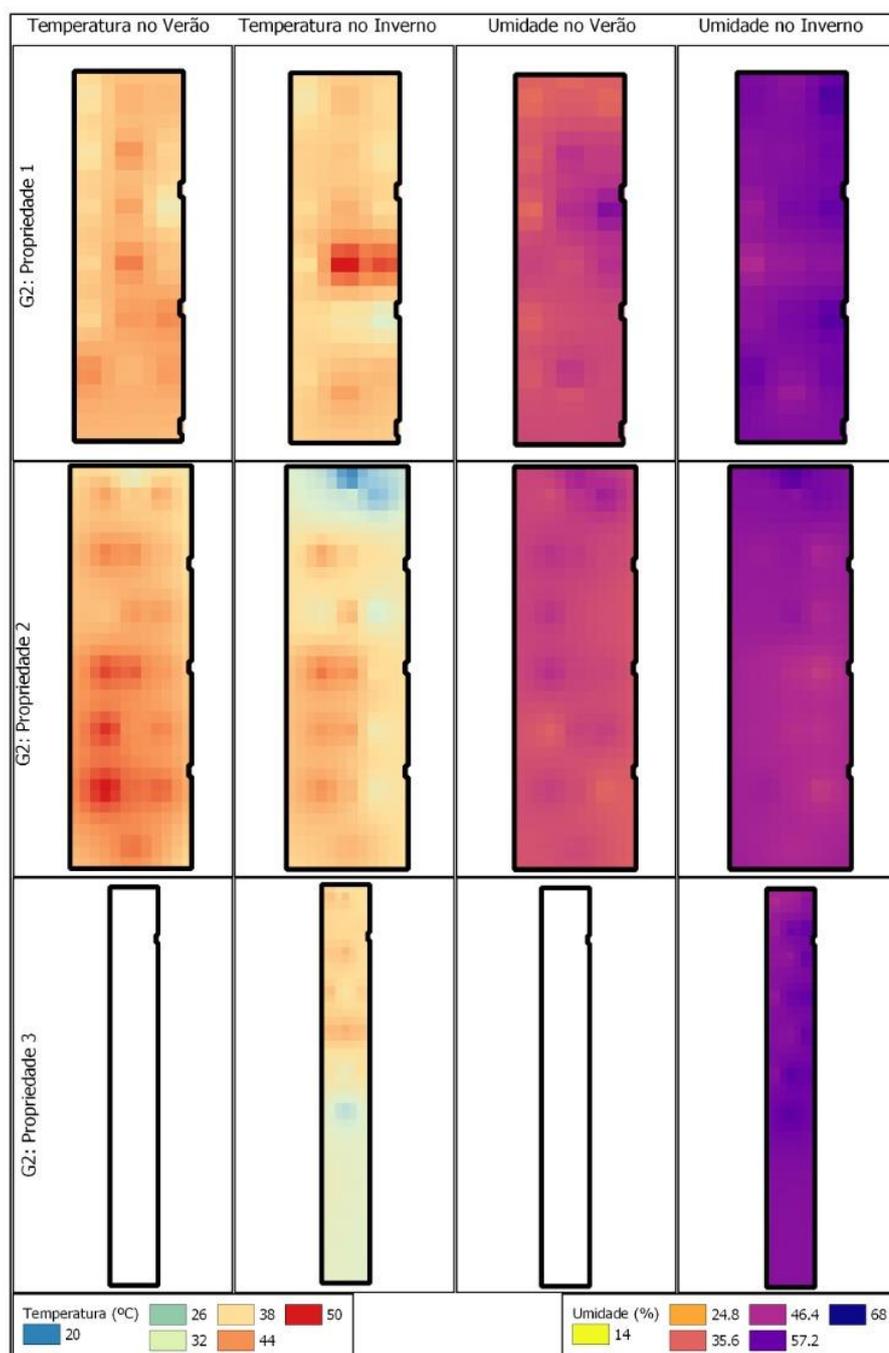
875 *Diferem-se pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

876 **Tabela 6.** Desdobramento da interação das variáveis Umidade, Capacidade de retenção
 877 de água, Peneira de 9,50 mm e Fundo da cama de diferentes grupos de *Compost Barns* e
 878 em estações climáticas distintas. Médias seguida por letras minúsculas diferentes dentro
 879 dos grupos, e maiúsculas diferentes entre as estações climáticas, diferem-se pelo teste de
 880 Tukey a 5% de probabilidade.

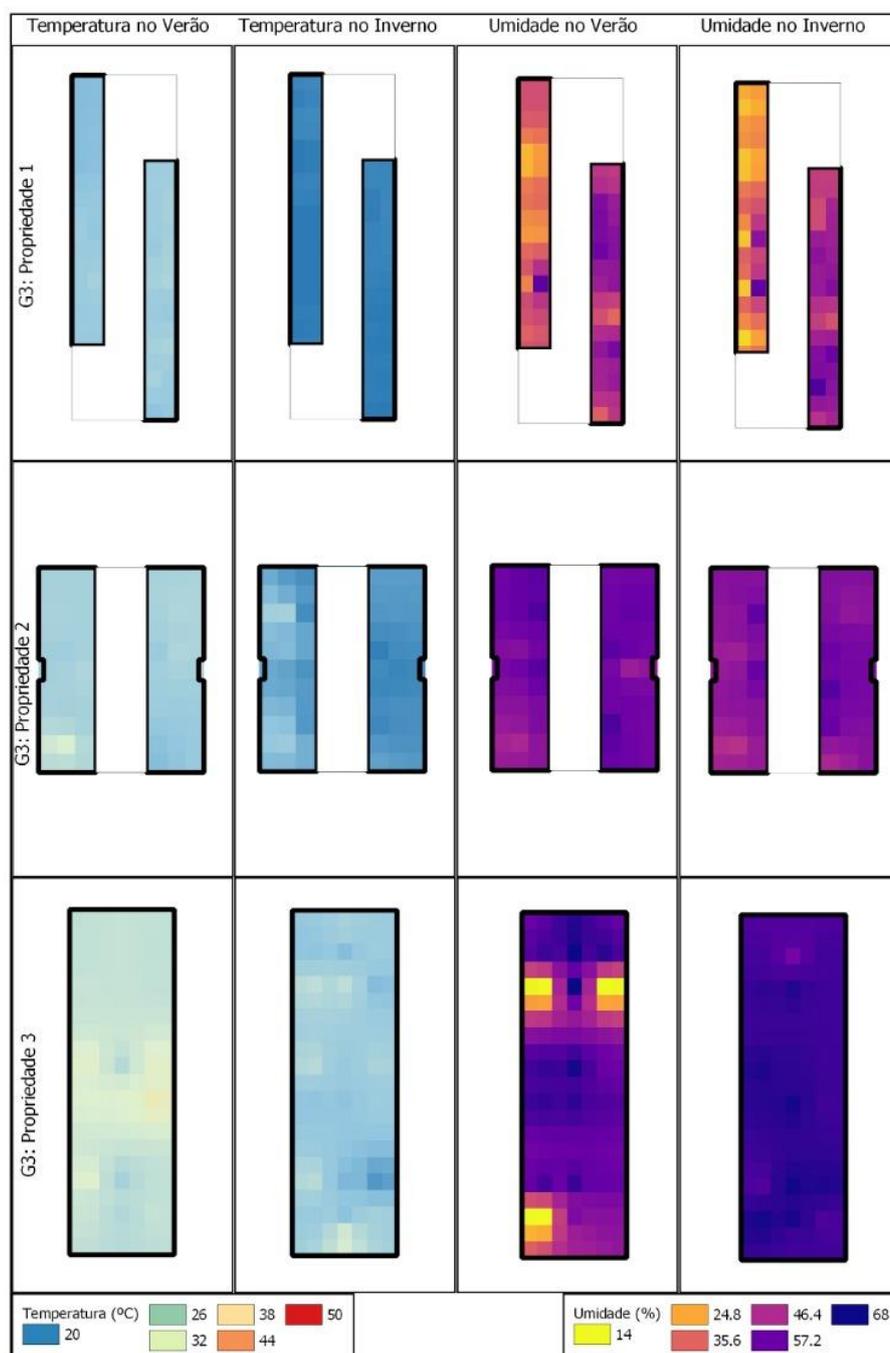
Variável	Estação do ano	Grupo		
		G1	G2	G3
Umidade (%)	<i>Inverno</i>	57,03aA	51,97aA	54,86aA
	<i>Verão</i>	46,91bB	41,41bB	55,83aA
Capacidade de retenção de água (W)	<i>Inverno</i>	54,31aA	56,30aA	60,27aA
	<i>Verão</i>	51,20bA	45,59bB	59,27aA
Peneira 9,50 mm	<i>Inverno</i>	41,90aA	51,65aA	52,04aA
	<i>Verão</i>	42,54bA	36,57bA	62,14aA
Fundo	<i>Inverno</i>	31,12aA	18,92aA	23,38aA
	<i>Verão</i>	31,07aA	32,43aA	13,46bA



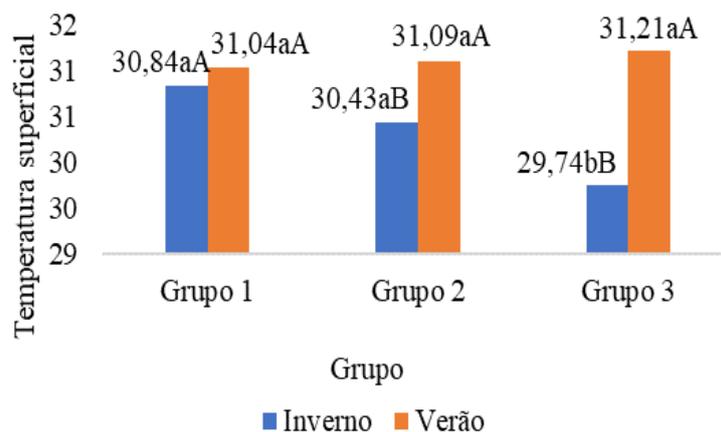
881
 882 **Figura 1.** Distribuição espacial da temperatura diurna (°C) e umidade (%) das camas de
 883 *Compost Barns* (Propriedades 1, 2 e 3, pertencentes ao Grupo 1), avaliadas no verão e
 884 no inverno. Não houve interação entre grupo e estação climática sobre a temperaturas
 885 diurnas das camas ($P > 0,05$). As temperaturas diurnas das camas variaram
 886 significativamente entre as estações climáticas ($P < 0,05$). Ainda, a temperatura de cama
 887 foi maior no verão em relação ao inverno ($P < 0,05$).



888
 889 **Figura 2.** Distribuição espacial da temperatura diurna (°C) e umidade (%) das camas de
 890 *Compost Barns* (Propriedades 1, 2 e 3, pertencentes ao Grupo 2), avaliadas no verão e
 891 no inverno. Não houve interação entre grupo e estação climática sobre a temperaturas
 892 diurnas das camas ($P > 0,05$). As temperaturas diurnas das camas variaram
 893 significativamente entre as estações climáticas ($P < 0,05$). Ainda, a temperatura de cama
 894 foi maior no verão em relação ao inverno ($P < 0,05$).



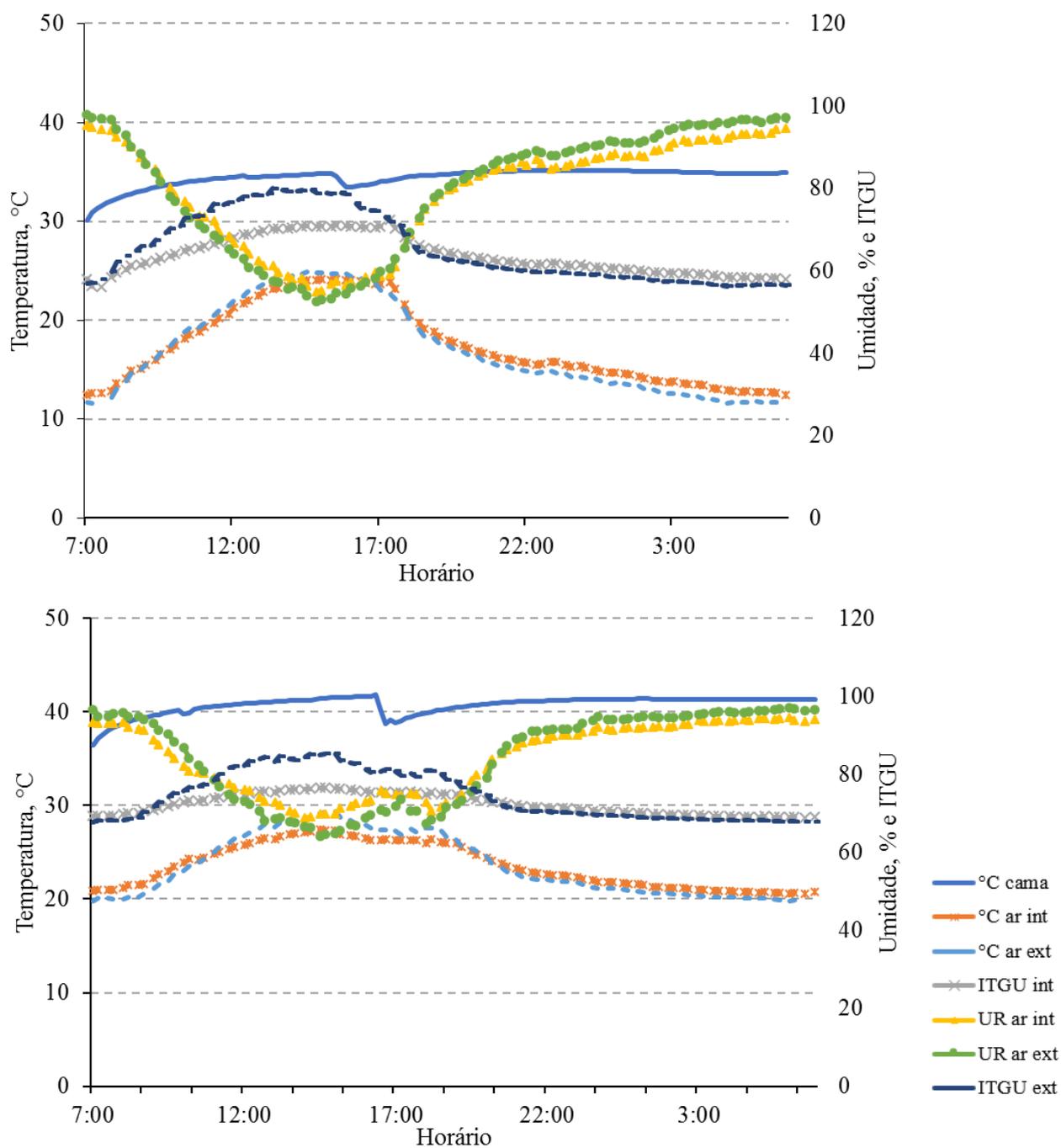
895
 896 **Figura 3.** Distribuição espacial da temperatura diurna (°C) e umidade (%) das camas de
 897 *Compost Barns* (Propriedades 1, 2 e 3, pertencentes ao Grupo 3), avaliadas no verão e
 898 no inverno. Não houve interação entre grupo e estação climática sobre a temperaturas
 899 diurnas das camas ($P > 0,05$). As temperaturas diurnas das camas variaram
 900 significativamente entre as estações climáticas ($P < 0,05$). Ainda, a temperatura de cama
 901 foi maior no verão em relação ao inverno ($P < 0,05$).



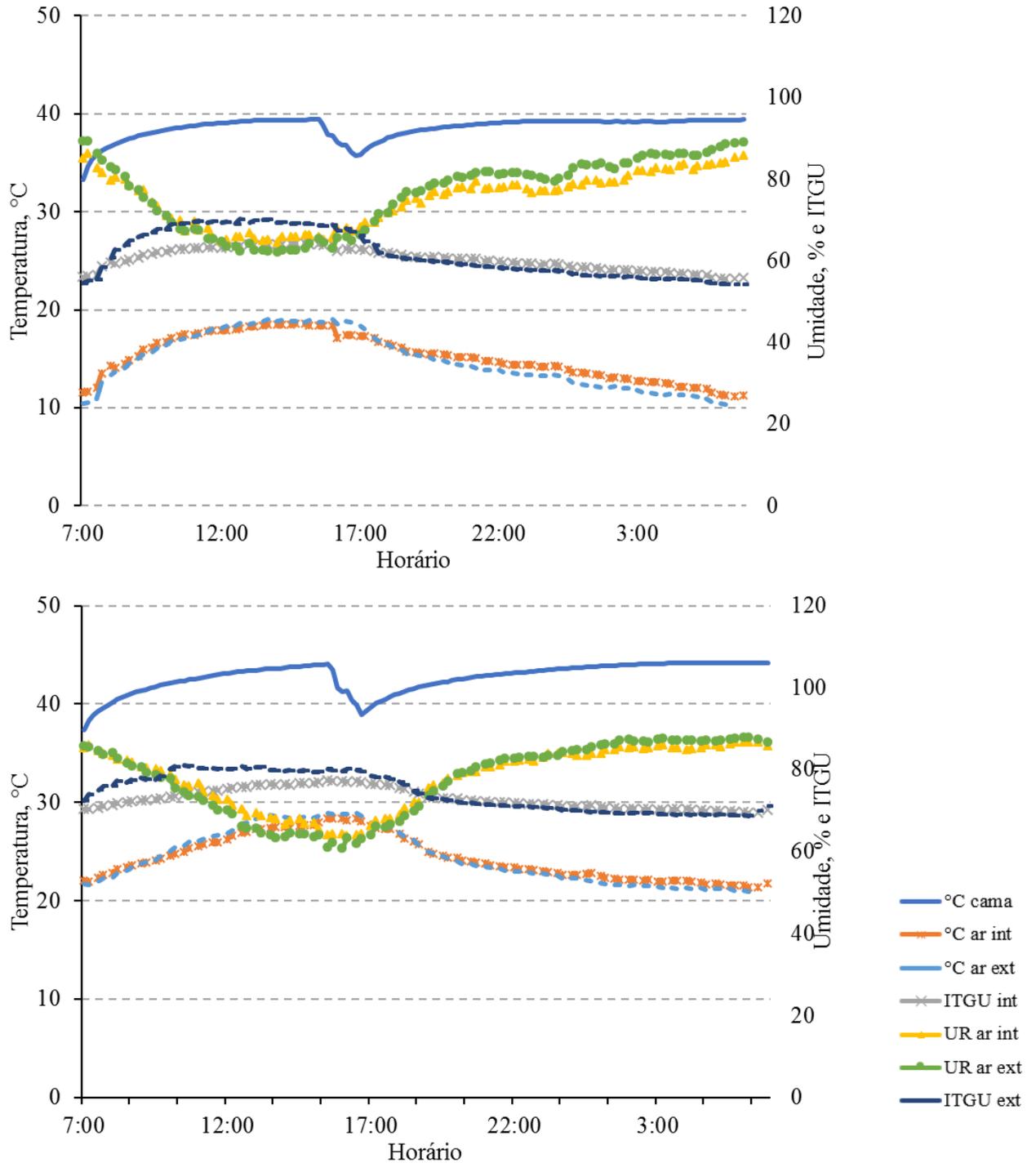
902

903 **Figura 4.** Desdobramento da interação da temperatura superficial de vacas leiteiras
904 alojadas em diferentes condições de alojamento em *Compost Barns* e em estações
905 climáticas distintas. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes dentro dos grupos,
906 e maiúsculas diferentes entre as estações climáticas, diferem-se pelo teste de Tukey a
907 5% de probabilidade.

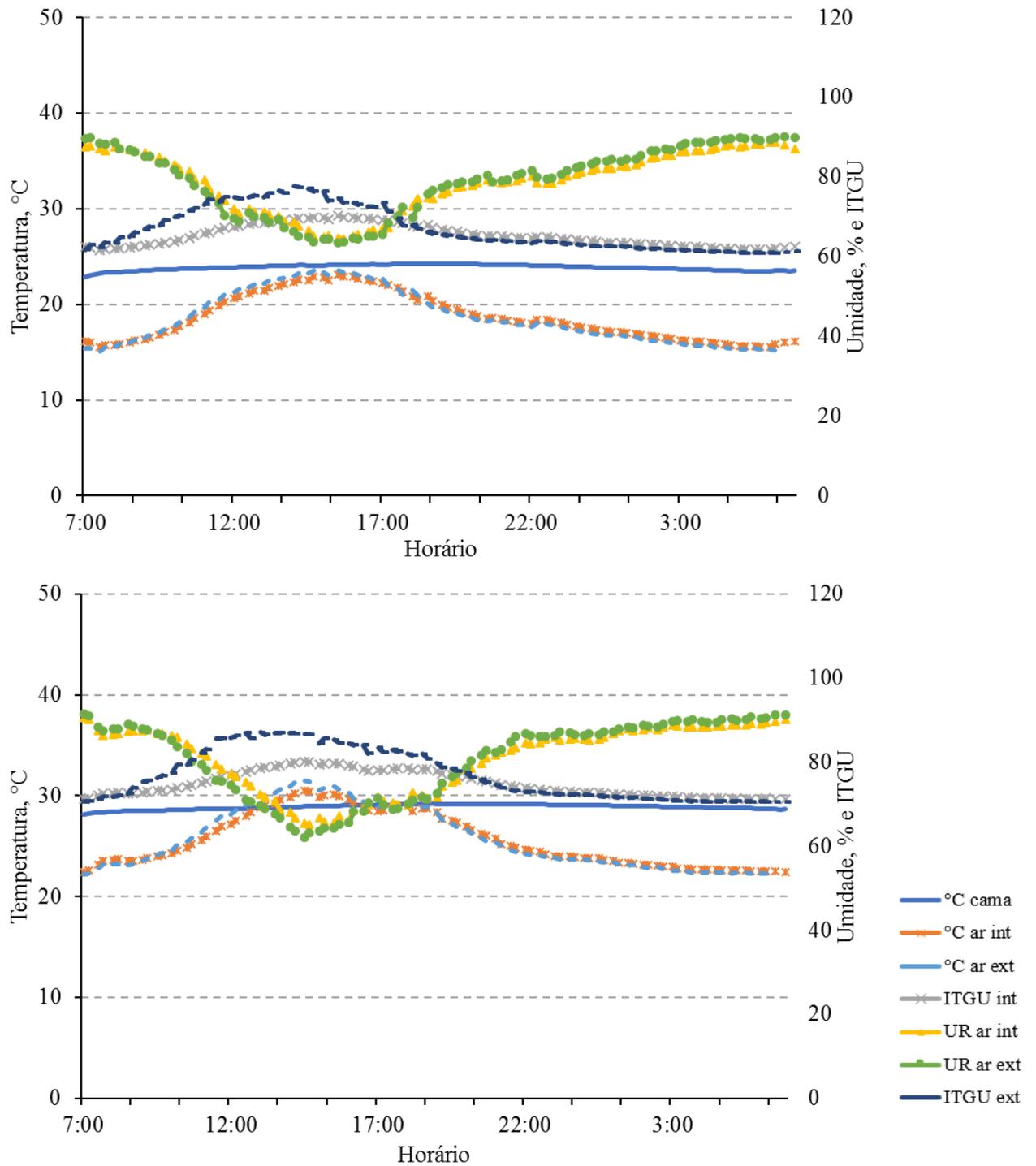
908



909 **Figura 5.** Curvas diárias das variáveis climáticas e de temperatura de cama monitoradas
 910 no inverno (acima) e no verão (abaixo) para o Grupo 1.



911 **Figura 6.** Curvas diárias das variáveis climáticas e de temperatura de cama monitoradas
 912 no inverno (acima) e no verão (abaixo) para o Grupo 2.



913

914 **Figura 7.** Curvas diárias das variáveis climáticas e de temperatura de cama monitoradas

915 no inverno (acima) e no verão (abaixo) para o Grupo 3.

MANUSCRITO II

Running head: Protocolo Welfare Quality® em Compost Barns

Comportamento e bem-estar de vacas alojadas em sistema Compost Barn da região subtropical do Brasil¹

¹Os autores agradecem à CAPES, pela bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ Processo Universal n. 428853/2016-1, pelo auxílio financeiro. Aos proprietários das fazendas leiteiras pela disponibilidade de estruturas e dos animais para a realização do estudo. Aos professores da Universidade do Estado de Santa Catarina, Aline Zampar, Juliano Vitória Domingues e Maria Luísa Appendino Nunes Zotti, e da UNOESC Fábio José Gomes, pelo auxílio no planejamento, análise de dados, elaboração de plantas e redação do artigo científico.

15 **RESUMO:** O sistema *compost barn* (CB) ainda não foi avaliado no Brasil por um
16 protocolo que estime globalmente o bem-estar oferecido. Ademais, estudos sobre o
17 comportamento das vacas em CB brasileiros são escassos. O objetivo deste trabalho foi
18 averiguar e classificar o bem-estar e o comportamento de vacas leiteiras em três tipos de
19 CB durante o inverno e o verão. Foram avaliadas, durante o verão (V) e o inverno (I),
20 nove propriedades distribuídas em três grupos (G1: instalações convencionais, de
21 grande porte e utilização em tempo integral; G2: convencionais e adaptados, utilização
22 em tempo integral; G3: utilização em tempo parcial). O bem-estar foi avaliado por meio
23 da aplicação do Welfare Quality® Protocolo de Avaliação para Bovinos (WQ) em cada
24 uma das fazendas. O comportamento diurno consistia no monitoramento de atividades
25 como: ingestão de alimento, ingestão de água, deitado na cama, ócio em pé na cama e
26 ócio em pé na pista de alimentação, durante 4 horas consecutivas por dois dias. Não
27 houveram desvantagens entre os grupos para todas as medidas avaliadas pelo WQ.
28 Houve um aumento ($P < 0,05$) na incidência de diarreia e na duração do tempo de deitar
29 ($P < 0,05$) durante o inverno. Ainda, apenas o princípio de comportamento apropriado
30 variou ($P < 0,05$) entre os grupos estudados, sendo melhor para o Grupo 3.
31 Independente da estação climática, o bem-estar de vacas leiteiras mantidas em CB foi
32 classificado como melhorado. Não foram observadas anormalidades no comportamento
33 das vacas alojadas nos diferentes grupos e estações climáticas. Além disso, as vacas do
34 Grupo 3 deitaram menos durante o verão.

35 **Palavras-chave:** *welfare quality*, *compost barn*, comportamento animal.

36

INTRODUÇÃO

37
38 O alojamento de vacas em Compost Barn (CB) é de interesse global. É
39 reconhecido que as vacas alojadas em CB possuem menor prevalência de claudicação e
40 melhor saúde de pernas e pés quando comparado a outros sistemas de confinamento
41 (Lobeck et al., 2011; Burgstaller al., 2016), sobretudo, quando o sistema permite o
42 acesso à pastagem (Costa et al., 2018). Todavia, as vacas podem se apresentar mais
43 sujas devido às condições físicas da cama, tal fator favorecido em períodos chuvosos
44 (Lobeck et al., 2011; Fávero et al., 2015). Qualquer alteração nas características do
45 alojamento que provoque desconforto, pode resultar em consequências no desempenho e
46 na produção das vacas leiteiras (Cook et al., 2016; Grimard et al., 2019), tais como:
47 claudicação e lesões (Costa et al., 2018), redução do desempenho reprodutivo
48 comprovado pelo primeiro intervalo de serviço mais tardio e pela redução na taxa de
49 partos (Grimard et al., 2019), sujidade do úbere (Cook et al., 2016) ou comportamento
50 indesejado (Endres e Barberg, 2007). O projeto Welfare Quality® (WQ®) baseia-se
51 em várias destas características para classificar o bem-estar de vacas leiteiras alojadas
52 em um determinado sistema. Com isso, propriedades ou sistemas podem ser
53 comparados igualmente (Welfare Quality, 2009). Burow et al. (2013) e Wagner
54 et al. (2018) estudaram o WQ® em rebanhos mantidos a pasto, Molina et al. (2019)
55 analisaram fazendas leiteiras da Espanha, Coignard et al. (2013) e Des Roches et al.
56 (2014) avaliaram rebanhos franceses e Popescu et al. (2014) avaliaram sistemas de
57 alojamento estabulado (*loose housing vs. tie-stall*). No entanto, ainda não se tem
58 parâmetros em relação às condições gerais de bem-estar de vacas leiteiras alojadas
59 em CB, obtidas por um protocolo, tal como o Welfare Quality. Desta maneira, o
60 objetivo deste trabalho foi averiguar e classificar o bem-estar e o comportamento de
61 vacas leiteiras em três condições de alojamento em CB durante o inverno e o verão na
62 região sul do Brasil.

63

MATERIAL E MÉTODOS

64

65 Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa em
66 Animais da Universidade do Estado de Santa Catarina (protocolo CEUA nº
67 6933110718).

68 Foram avaliadas nove fazendas leiteiras comerciais, distribuídas em cinco
69 municípios da Região Sul do Brasil (Coronel Freitas, Chapecó, Guatambú, Seara e
70 União do Oeste), que utilizavam o CB como sistema de alojamento para bovinos de

71 leite. Estas foram divididas em três grupos de fazendas, conforme análise de dados
72 multifatorial proposto por Radavelli (2018): CB convencionais de grande porte,
73 caracterizados por serem estábulos maiores, semelhantes aos modelos americanos,
74 como proposto por Janni et al. (2007), com tempo de utilização integral (Grupo 1 ou
75 G1); CB convencionais ou adaptados, que eram instalações novas, como proposto por
76 Janni et al. (2007) ou adaptadas de outras instalações rurais, de diversos tamanhos, com
77 tempo de utilização integral (Grupo 2 ou G2) e CB de utilização parcial, classificadas
78 independentemente do tipo construtivo, porém somente utilizados em horas quentes do
79 dia ou período de chuva, os quais não possuíam ventilação mecânica e a cama era
80 revolvida eventualmente (Grupo 3 ou G3). Mais detalhes sobre as propriedades são
81 apresentados na Tabela 1.

82 ***Características dos Compost Barns***

83 As instalações do G1 tinham áreas de cama entre 900 e 1500 m². Todas as
84 instalações possuíam ventilação mecânica (Tabela 1), aspersores na sala de espera ou na
85 pista de alimentação, pé-direito entre 4,40 e 6,46 m, eram construídos em pré-moldado
86 de concreto e possuíam cobertura de alo-zinco. Algumas imagens das instalações do G1
87 podem ser observadas no Anexo 1.

88 O grupo G2 contemplou instalações de áreas de cama entre 975 e 1470 m²
89 (Anexo 2). Destes, um CB foi projetado diretamente para a produção de leite e os outros
90 dois foram adaptados de instalações projetadas para a criação de aves (os quais não
91 possuíam um padrão construtivo semelhante entre si). Todas as instalações possuíam
92 ventilação mecânica (Tabela 1), a altura do pé-direito variava entre 3 a 6 m. Além disso,
93 a propriedade 2 possuía aspersão na pista de alimentação.

94 As áreas de cama das 3 instalações pertencentes aos grupos 1 e 2, eram
95 revolvidas duas vezes ao dia, um revolvimento era matinal, aproximadamente às
96 6:00±2:00 h e o segundo revolvimento era no período vespertino, aproximadamente às
97 19:00±2:00 h. Em todas as propriedades, material de cama seco (serragem ou
98 maravalha) era adicionado conforme a percepção visual de que a cama estava
99 excessivamente úmida. Além disso, o tempo de utilização das camas dos CB dos grupos
100 1 e 2 variaram entre elas, no entanto, devido a dificuldade de estimativa do tempo de
101 uso das camas, os dados não foram informados pelos produtores.

102 Por fim, as fazendas leiteiras do G3, possuíam a área de cama entre 220 a 480 m²
103 e permitiam acesso ao pasto. Detalhadamente, os manejos realizados no G3 eram: nas
104 propriedades 1 e 2, o uso do estábulo era feito durante o fornecimento de suplementação

105 (silagem e concentrado) e, na propriedade 3 era permitido o livre acesso durante os
106 períodos mais quentes do dia. Nesta última, o acesso ao CB era disponibilizado durante
107 todos os dias durante a tarde, para evitar a incidência de radiação solar direta sobre os
108 animais. As propriedades 1, 2 e 3, do G3 disponibilizavam sucessivamente 22, 14 e 17
109 horas de acesso ao pasto diariamente. As instalações possuíam características em
110 comum como a ausência de ventilação mecânica e o revolvimento da cama
111 eventualmente. Algumas imagens das instalações do G3 podem ser observadas no
112 Anexo 3.

113 Na Tabela 1 estão apresentadas algumas características das propriedades dos três
114 grupos avaliados, o manejo diário e características estruturais das instalações as
115 diferenciava, bem como suas características construtivas (Anexo 4). O estudo foi
116 realizado entre agosto a outubro de 2018 e janeiro a março de 2019. Cada fazenda foi
117 visitada em dois períodos distintos, de quatro dias consecutivos cada, durante os meses
118 descritos, sendo a primeira visita realizada no inverno e a segunda, no verão
119 subsequente. Outras variáveis foram publicadas em artigo complementar a este.

120 ***Características microclimáticas***

121 As características microclimáticas das propriedades foram descritas pelas
122 variáveis de temperatura de bulbo seco (TBS; °C), umidade relativa do ar (UR; %),
123 índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade
124 (ITGU) (Tabela 2). A TBS e a UR foram aferidas por meio de um registrador de dados
125 (Hobo, U12-013), incorporado a um sensor externo para temperatura (Hobo, TMC6-
126 HD), o qual foi acoplado a uma esfera oca de polietileno, pintada de preto fosco para
127 mensuração da temperatura de globo negro (TGN, °C). O registrador de dados acoplado
128 ao sensor externo foi posicionado a 1,5 m do solo e a aproximadamente 10 m de
129 distância do estábulo, no interior de um abrigo meteorológico, com exceção do sensor
130 para temperatura de globo negro. Com base nos valores de TGN e UR foi calculado o
131 ITGU, conforme Buffington et al. (1981) e com base nos valores de TBS e UR se
132 calculou o ITU, conforme a equação proposta por Johnson et al. (1962).

133 ***Avaliação do bem-estar animal***

134 O material de referência para a avaliação do bem-estar das vacas neste estudo foi
135 o Welfare Quality® Protocolo de Avaliação para Bovinos (Welfare Quality
136 Consortium). Todas as medidas baseadas em observação animal, instalações e entrevista
137 foram realizadas por dois observadores treinados. Para tal, antes do início das avaliações
138 nas fazendas, houve um estudo detalhado das medidas que compõem o protocolo do

139 WQ®, bem como os dois observadores realizaram um treinamento em propriedades
140 leiteiras antes do início das avaliações. Eventuais dúvidas foram sanadas por dois
141 profissionais qualificados na área de comportamento animal, com conhecimento do
142 protocolo WQ®. Neste sentido, os dados foram utilizados na condição de concordância
143 inter e intra-observador, de pelo menos 80% para todas as medidas do protocolo.

144 Este protocolo incluiu a avaliação de 29 medidas tomadas a campo, que por sua
145 vez foram agrupados em 11 critérios e, subsequentemente em quatro princípios de bem-
146 estar. Por fim, foi determinada a categoria geral de bem-estar da propriedade, o qual
147 pode ser considerada excelente, melhorada, aceitável ou não classificada (Welfare
148 Quality, 2009).

149 Foram adotadas algumas precauções para que o manejo da propriedade não
150 prejudicasse a verificação das medidas e a avaliação fosse feita nas mesmas condições
151 de manejo. Foram avaliadas todas as vacas de cada propriedade, o que permitiu a
152 avaliação da média de 580 animais para cada estação. A pontuação clínica (score de
153 condição corporal, limpeza corporal, alterações do tegumento, secreção nasal, ocular e
154 vulvar, e diarreia) ocorreu durante a alimentação, subsequente à ordenha da manhã. Para
155 detectar a claudicação, as vacas foram observadas quando saíram da sala de ordenha. O
156 teste de esquiva foi realizado durante a alimentação das vacas, conforme saiam da
157 ordenha para se alimentar, foi preconizado que os animais estivessem se alimentando no
158 momento da verificação, conforme recomendado pelo protocolo.

159 Para a avaliação das observações comportamentais (tempo necessário para se
160 deitar, colisão com equipamentos enquanto os animais se deitavam, animais deitados
161 parcialmente ou completamente fora da área de repouso, comportamentos agonísticos
162 e tosse) foi aplicada a amostragem comportamental contínua (em um a três
163 segmentos da instalação, conforme a quantidade de vacas) durante 120 minutos. O
164 observador permanecia à uma distância suficiente para contabilizar a atividade
165 comportamental, mas, que não influenciasse no comportamento natural dos animais.
166 Todavia, o Comportamento Qualitativo (QBA) foi feito nos mesmos segmentos
167 adotados para a observação comportamental em cada uma das instalações. Cada um
168 destes segmentos era visitado e a linguagem corporal dos animais foi verificada quando
169 eles tivessem retornado ao comportamento não perturbado. O tempo de aplicação do
170 QBA variou entre as instalações conforme a quantidade de segmentos, não extrapolando
171 os 20 minutos preconizados para cada fazenda.

172 Também como parte da aplicação do Protocolo, os recursos da fazenda foram
173 examinados (medidas referentes aos pontos de água). Subsequente às avaliações
174 baseadas nos animais e nos recursos, foram obtidas informações técnicas, quanto às
175 condições de acesso ao pastejo, quais procedimentos eram realizados quanto à
176 descorna ou corte de cauda, e de saúde (contagem de células somáticas do leite, e
177 taxas de mortalidade, distorcia e hipocalcemia).

178 A aplicação do WQ® nas fazendas do G3 foi realizada apenas enquanto os
179 animais permaneceram dentro da instalação. Todavia, mesmo nas propriedades aonde os
180 animais eram mantidos na instalação pelo menor tempo, este fator não influenciou na
181 tomada das medidas.

182 *Avaliação de comportamento diurno*

183 Concomitante à aplicação do protocolo Welfare Quality, foi realizada a
184 observação e o registro do padrão comportamental diurno das vacas leiteiras. Os dados
185 comportamentais foram obtidos em dois dias alternados, por um único observador,
186 mantendo-se o mesmo horário em ambos os dias (a observação iniciava
187 aproximadamente duas horas após a ordenha matinal, entre as 8:00 h e 12:00 h). O
188 registro do comportamento foi realizado a cada 15 minutos, pelo método de varredura
189 instantânea, durante um período de 4 horas em cada dia (Endres e Barberg, 2007).
190 Durante cada registro, foram contabilizados os animais que desempenhavam os
191 seguintes comportamentos: ingestão de alimento, ócio em pé na cama, ócio em pé na
192 pista de alimentação, deitado na cama e ingestão de água. Foram incluídas todas as
193 vacas em lactação presentes na área de cama e na pista de alimentação (Tabela 1).

194 Para registro dos comportamentos citados, foram consideradas as seguintes
195 condições: ingestão de alimento (IC), quando o animal abaixa a cabeça para ingerir ou
196 não o alimento na linha de comedouro; ingestão de água (IA), o animal está parado na
197 frente do bebedouro, seja ingerindo ou não a água; deitado na cama (DC), o animal está
198 deitado na cama do CB com execução ou não da atividade de ruminação, ainda, foram
199 considerados os animais com mais de 50% do corpo em contato com a cama; ócio em
200 pé na cama (OEPC), o animal permanece em posição ereta, sem estar envolvido em
201 qualquer outra atividade aparente na cama, em que foram considerados os animais com
202 mais de 50% do corpo em pé na cama; ócio em pé na pista de alimentação (OEPP), o
203 animal permanece em posição ereta, sem estar envolvido em qualquer outra atividade
204 aparente na pista de alimentação, em que foram considerados os animais com mais de
205 50% do corpo em pé na pista.

206 Devido à duas das fazendas pertencentes ao Grupo 3 não oferecerem o acesso
207 dos animais à instalação pelo período mínimo de 4 horas necessárias para a avaliação
208 comportamental, foram desconsideradas para esta análise. Portanto, a avaliação
209 comportamental do Grupo 3 foi avaliada em apenas uma das propriedades.

210 *Análise de dados*

211 Os dados coletados para classificar o bem-estar nas fazendas foram
212 processados usando o *software* WQ®. Foram calculadas as pontuações dos critérios e
213 princípios. Os dados foram expressos como o número de animais afetados em relação
214 ao número total de animais avaliados em cada fazenda. Foram determinados
215 indicadores estatísticos descritivos (média e amplitude) para as 29 medidas avaliadas,
216 para os escores dos 11 critérios: ausência de fome prolongada (AFP), ausência de sede
217 prolongada (ASP), conforto em torno do repouso (CAR), facilidade de movimento
218 (FM), ausência de lesões (AL), ausência de doenças (AD), ausência de dor induzida por
219 procedimentos de manejo (APIPM), expressão de comportamentos sociais (ECS),
220 expressão de outros comportamentos (EOC), boa relação homem-animal (BRHA),
221 estado emocional positivo (EP) e para os escores dos quatro princípios de bem-estar
222 (boa alimentação, bom alojamento, boa saúde, comportamento adequado) do GR1, GR2
223 e GR3 nas duas estações climáticas avaliadas.

224 Para a análise estatística das medidas, critérios e princípios oriundos do WQ®,
225 adotou-se o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 2 x 3 (duas
226 estações climáticas e três grupos). Foi realizado o teste de normalidade dos resíduos e a
227 análise estatística foi executada por meio do programa estatístico SAS (*Statistical*
228 *Analysis System*) e as médias dos grupos, das estações climáticas e da interação entre
229 grupo e estação foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

230

231

RESULTADOS E DISCUSSÃO

232 *Avaliação das medidas de bem-estar pelo WQ®*

233 A avaliação do bem-estar em diferentes formas de alojamento do sistema CB em
234 região subtropical do Brasil e nas diferentes estações do ano pode ser considerada
235 adequada, no sentido de que todas foram classificadas como melhoradas.

236 Independente do grupo ou estação do ano, foi encontrada uma baixa incidência
237 de vacas magras (Tabela 3). É comum que o pastejo ofereça riscos negativos sobre o
238 estado nutricional (Olmos et al., 2009; Burow et al., 2013), porque a qualidade e a
239 disponibilidade de pastagem podem variar conforme os efeitos climáticos da região e

240 manejo (Burow et al., 2013). Mas, não foi o caso deste resultado, pois o percentual de
241 vacas magras se manteve semelhante independente do grupo. Wagner et al. (2018)
242 sugerem que a suplementação adicional é capaz de anular este risco associado ao
243 pastejo. Blanco-Penedo et al. (2019) encontraram que o escore de condição corporal de
244 vacas alojadas em CB foi adequada em 92% das vacas, semelhante ao resultado deste
245 estudo.

246 O sistema deve suprir a exigência mínima de 10 a 15 cm lineares de bebedouro
247 por vaca, além da necessidade de haver pelo menos dois pontos de acesso para evitar
248 limitação de consumo de água pelo efeito de dominância no plantel (Molina et al.,
249 2019). Aproximadamente 65% das fazendas não forneciam o mínimo de comprimento
250 linear de bebedouro por animal (Tabela 1). Ainda, algumas das fazendas não realizavam
251 manejos adequados na limpeza dos bebedouros, o que poderia ocasionar rejeição no
252 consumo de água, mesmo que, todas oferecessem o mínimo de pontos de água
253 recomendados (dois pontos de água).

254 O tempo requerido para uma vaca se deitar deve ser igual ou inferior a 5,20
255 segundos (Welfare Quality, 2009). No inverno, as vacas exigiam significativamente
256 maior tempo para se deitarem, mas o tempo requerido não ultrapassou o limiar tratado
257 como adequado (Tabela 3). O maior tempo requerido para as vacas deitarem no inverno
258 pode ser justificado pela superfície da cama ser mais úmida ou menos macia nesta
259 estação e, assim prejudicar a atividade (Popescu et al., 2014).

260 O CB é um sistema de alojamento livre de baias, partições ou amarras, e o
261 acesso à cama permite o exercício das vacas em conjunto (Black et al., 2013). Assim,
262 até mesmo nos CB do G2 e, alguns do G3 que tinham presença de pilares na área de
263 descanso, não foram observadas colisões enquanto as vacas se deitavam. Qualquer
264 obstáculo (pilar ou parede) pode ser atingido com muita força pelas vacas, sujeitando a
265 ferimentos (Endres e Barberg, 2007). Este resultado é positivamente associado à
266 produtividade, saúde e bem-estar das vacas (Mattachini et al., 2019).

267 Vale ressaltar que, devido ao calor excessivo que ocorreu durante o verão
268 avaliado, foi observado que alguns animais de uma propriedade do G1 tendiam a se
269 deitar na pista de alimentação ao invés de deitarem na cama. Segundo Frazzi et al.
270 (2000), em um ambiente térmico inadequado, o comportamento de deitar em áreas de
271 concreto úmidas favorece a perda de calor para o ambiente. Tal comportamento
272 indesejado confirma a importância da implementação de técnicas de aclimatização mais
273 eficientes.

274 O estado de limpeza das vacas pode variar em função da gestão geral da fazenda
275 (Black et al., 2013; Molina et al., 2019) e, também conforme a parte do corpo observada
276 (Molina et al., 2019; Des Roches et al., 2014). Neste estudo, o percentual de vacas com
277 pernas sujas foi alto (Tabela 3). Entretanto, os valores encontrados são tratados como
278 adequados (Black et al., 2013; Des Roches et al., 2014). Blanco-Penedo et al. (2019)
279 encontraram 62% de vacas alojadas em CB, com sujidade nas pernas. Na França, Des
280 Roches et al. (2014) observaram padrões semelhantes para a sujidade de pernas (88 a
281 100%) e úbere (22%) em fazendas leiteiras. Ainda, alguns autores observaram que as
282 vacas alojadas neste sistema normalmente se apresentam moderadamente sujas e, em
283 alguns casos com placas de sujeira (Black et al., 2013). De acordo com Fávero et al.
284 (2015) a densidade animal e a umidade da cama são preditores dos escores de limpeza
285 (perna, teto, úbere e flanco), em que, quanto maior a umidade da cama ou densidade de
286 animais, maior é a sujidade. Além disso, durante estações chuvosas e úmidas é mais
287 difícil de manter a limpeza das vacas. Todavia, na presente pesquisa, não foram
288 observadas diferenças significativas nas medidas de limpeza avaliadas entre estações do
289 ano ou entre grupos de fazendas avaliados.

290 Os resultados desta pesquisa mostraram a baixa prevalência de claudicação do
291 rebanho (Tabela 3). Outros autores também descreveram resultados semelhantes para
292 CB, em que a claudicação alcançou cerca de 4,4 a 9,1% do rebanho (Shane et al., 2010;
293 Lobeck et al., 2011). Todavia, existem relatos de CB com até 18,7% do plantel
294 claudicante (Burgstaller et al., 2016). Blanco-Penedo et al. (2019) encontraram
295 claudicação leve e severa em 22% das vacas amostradas em CB. Os resultados desta
296 pesquisa indicam que a qualidade da cama das fazendas analisadas proporcionou baixa
297 incidência de claudicação porque, de acordo com Alsaad et al. (2017) este sistema
298 permite que os pés afundem na cama facilitando a tração e a caminhada.

299 É notório que as alterações de tegumento podem estar associadas à incidência de
300 claudicação (Coignard et al., 2013; De Vries et al. 2015). De Vries et al. (2015) sugerem
301 que o aparecimento de lesões é reduzido quando as vacas são mantidas em superfícies
302 macias, tais como a área de repouso e o acesso a pastagem. Blanco-Penedo et al. (2019)
303 encontraram aproximadamente 52% das vacas alojadas em CB com alguma área sem
304 pelos. O acesso ao pastejo também foi relatado como benéfico para a saúde dos pés em
305 outros estudos (Burow et al., 2013; Wagner et al., 2018). Burgstaller et al. (2016)
306 relataram que a prevalência total de lesões em pés é alta em CB, todavia, as lesões
307 menores que causaram pouca ou nenhuma dor foram aquelas detectadas em maior

308 quantidade. Ainda, os autores relataram a menor prevalência de lesões quando as vacas
309 eram alojadas em CB do que em *freestall*.

310 O protocolo permite uma avaliação geral da saúde por meio de uma combinação
311 de diferentes medidas, consideradas como prejudiciais ao bem-estar de vacas leiteiras
312 (Welfare Quality, 2009). A avaliação geral da saúde dos rebanhos do estudo se
313 assemelhou aos resultados encontrados para rebanhos (sistema não identificado pelos
314 autores) leiteiros franceses (Coignard et al., 2013) e rebanhos europeus mantidos a pasto
315 (Wagner et al., 2018).

316 Dentre as medidas que compõem a avaliação da saúde, uma das mais
317 importantes é o aparecimento de mastite, devido à dor provocada aos animais e pela sua
318 relação direta com a qualidade do leite. Em CB, este fator recebe atenção especial, pois
319 pode indicar a capacidade que o material orgânico da área de descanso tem em prover o
320 aparecimento de mastite. Segundo Fávero et al. (2015) a umidade excessiva da cama é
321 um preditor do crescimento e da multiplicação de microrganismos e sua exposição às
322 vacas. No entanto, existe uma lacuna a ser entendida, que é a transferência de bactérias
323 para a pele do teto. Lobeck et al. (2011) sugeriram que a umidade da cama pode ser
324 influenciada pelo manejo e pelas condições climáticas. E por este motivo é difícil de ser
325 controlada. Ainda, Fávero et al. (2015) não observaram variações sazonais para a
326 concentração de bactérias no leite. A mesma situação foi observada em nossos
327 resultados (Tabela 3).

328 A descarga ocular se manteve baixa nos grupos e nas estações do ano avaliadas
329 (Tabela 3). Blanco-Penedo et al. (2019) afirmam que é comum a descarga ocular em
330 vacas alojadas em CB. É importante ressaltar sua importância em sistemas de
331 estabulação fechados, devido ao possível aumento na incidência de moscas, maiores
332 emissões de amônia ou poeira (Wagner et al., 2018).

333 Notou-se que a respiração dificultada foi mais frequente no G3, sobretudo
334 durante o verão, sugerindo uma possível dificuldade no sistema de climatização dos
335 estábulos (Tabela 3). Ainda, vale ressaltar que as fazendas pertencentes ao G3 não
336 disponibilizavam ventiladores ou nebulizadores para melhorar as condições de conforto
337 térmico.

338 A porcentagem de vacas com diarreia foi significativamente maior no inverno do
339 que no verão (Tabela 3). Burow et al. (2013) e Wagner et al. (2018) descobriram
340 comportamento inverso para rebanhos em pastejo. Uma razão para a maior incidência

341 de diarreia no inverno pode ser um desbalanço nutricional, principalmente para as
342 fazendas do G3 que são susceptíveis a variações climáticas constantemente.

343 Popescu et al. (2014) relataram que vacas alojadas em grupo tendiam a ter mais
344 comportamentos agressivos do que vacas amarradas; no entanto, sinalizaram também
345 que a falta de interação entre os animais é prejudicial ao bem-estar. Com relação ao
346 comportamento social das vacas alojadas no CB, foram observadas in loco várias vacas
347 correndo na cama, além de demonstrações de estro (montas em outros animais). Este
348 comportamento de cio induzia o aparecimento de interações sociais, tais como
349 cabeçadas, perseguições e lutas, como também observado em trabalho de Grimard et al.
350 (2019). Endres e Barberg (2007) também registraram eventos agressivos entre vacas
351 leiteiras alojadas em CB. Eles relataram em média 0,94 ocorrências de perseguição,
352 0,94 deslocamentos e 1,4 cabeçadas no intervalo de 1 hora. De Vries et al. (2015)
353 sugerem que a frequência de deslocamentos, que é a interação envolvendo contato físico
354 onde um animal bate no outro por meio de empurrões ou golpes e como resultado o
355 receptor desiste de sua posição, é influenciada principalmente por competições em torno
356 de recursos limitados. Neste estudo a maioria das interações agonísticas aconteciam em
357 regiões próximas aos bebedouros e na linha de comedouro. No mesmo sentido, Miller e
358 Wood-Gush (1991) observaram que a maioria das interações agonísticas acontecem no
359 corredor de alimentação.

360 As vacas observadas neste estudo se mostraram mais resistentes ao contato com
361 humanos do que em outros trabalhos (Popescu et al., 2014). Entretanto, esta relação não
362 sugere que o sistema seja inadequado. Esta medida indica a existência de problemas na
363 interação homem animal que, talvez, não tenham sido influenciadas pelo sistema.

364 ***Pontuações dos critérios e princípios pelo WQ®***

365 As pontuações para os 11 critérios e quatro princípios de bem-estar nos três
366 sistemas de alojamento (G1, G2 e G3) e nas duas estações climáticas está apresentada
367 na Tabela 4. Nenhum dos 11 critérios diferiram entre os grupos ou estações do ano, ou
368 apresentaram interação. Por outro lado, apenas o princípio comportamento apropriado
369 variou entre os grupos estudados. Para o WQ® o acesso ao pastejo é relevante na
370 pontuação do princípio “comportamento apropriado” (Welfare Quality, 2009) e por este
371 motivo as propriedades do G3 foram melhor classificadas para este princípio. Os G1 e
372 G2 receberam menores pontuações, pois não permitiam acesso ao pastejo.

373 Parece ser notório que o fornecimento de água limita o bem-estar e a
374 produtividade de vacas leiteiras, sendo que os agricultores devem estar atentos a isso.

375 Entretanto, a ausência de sede prolongada não recebeu a máxima pontuação em nenhum
376 dos grupos e estações do ano. Isto sugere que houve falhas importantes de manejo pois
377 a sede prolongada tem mais repercussões negativas no bem-estar dos animais do que a
378 fome prolongada, especialmente no caso de vacas leiteiras, cuja fase lactente induz ao
379 maior consumo de água (Popescu et al., 2014).

380 Um dos critérios que compreendem o princípio “bom alojamento” é o conforto
381 em torno do repouso (CAR). Este recebeu pontuações acima do que já foi registrado na
382 literatura para vacas alojadas em *tie-stall*, *loose housing* ou sob pastejo (Popescu et al.,
383 2014; Wagner et al., 2018). Isso parece ser um indicativo de que o alojamento de vacas
384 em CB promove melhores condições de conforto, independente da estação do ano.
385 Todos os tratamentos receberam pontuação máxima (100) para a facilidade de
386 movimento (FM) (dados não apresentados), uma vez que o sistema CB é livre de
387 amarras.

388 Existe uma dificuldade em se fazer comparações em relação às medidas que
389 compõem o princípio de “boa saúde”, devido aos problemas serem relacionados
390 principalmente ao manejo próprio de cada fazenda ou o clima de cada região. Assim,
391 nenhum critério foi significativamente influenciado pelo grupo ou pela estação climática
392 (Tabela 4). Vale ressaltar que, no critério de ausência de dor induzida por
393 procedimentos de manejo (APIPM) foram computadas apenas as práticas de manejo
394 relacionadas a descorna, isso porque no Brasil a prática de ancoragem da cauda não é
395 comum. Por sua vez, a descorna foi uma prática comum em todas as fazendas do estudo,
396 o que justifica a não pontuação máxima para nenhuma fazenda avaliada (Tabela 4). O
397 procedimento era realizado por meio de termocautério, e na fase de aleitamento para
398 todas as fazendas do estudo. Algumas realizavam o procedimento com uso de
399 anestésico, prática mais comum em fazendas do G1 e G2, as quais receberam maiores
400 pontuações.

401 O “comportamento apropriado” do G3 foi significativamente melhor em relação
402 aos outros grupos. Ainda, o G1 e G2 não diferiram entre si para este princípio. Vale
403 ressaltar que, o acesso ao pastejo não proporcionou nenhuma vantagem para as outras
404 observações pontuadas, seja na forma de medida ou escore de critério, como já
405 apresentado. Isto sugere que, independente do grupo, os agricultores geralmente
406 estavam atentos em melhorar a instalação ou o manejo da fazenda, o que pode justificar
407 a semelhança dos resultados. Alguns autores sugerem que o acesso ao pastejo melhora o

408 bem-estar de vacas leiteiras (Olmos et al., 2009; Wagner et al., 2018), entretanto,
409 nenhum fez comparações com o alojamento de vacas em CB.

410 ***Avaliação geral do WQ®***

411 Independente da estação do ano, as fazendas foram classificadas na categoria
412 “melhorada”, pois receberam a pontuação maior do que 15 em todos os princípios e
413 maior de 50 para pelo menos 2 deles (Welfare Quality, 2009). Neste estudo as
414 propriedades alcançaram um bom índice de bem-estar, entretanto, Molina et al. (2019),
415 Coignard et al. (2013) e Des Roches et al. (2014) obtiveram resultados aceitáveis para a
416 maioria das propriedades avaliadas em seus estudos. Como não existem trabalhos que
417 avaliaram bem-estar animal com o uso do WQ® em CB, utilizamos como referencial
418 trabalho que avaliaram o alojamento de vacas em sistema *loose housing*. Popescu et al.
419 (2014) avaliaram 40 fazendas leiteiras que utilizavam este sistema e destas, 24
420 receberam a pontuação aceitável e 16 foram classificadas como melhoradas.

421 ***Comportamento de vacas alojadas em CB***

422 Dentre os comportamentos monitorados no CB, aquele desempenhado com
423 maior frequência pelas vacas foi o ato de permanecer deitado na cama (Tabela 5).
424 Todavia, ressaltasse-que as vacas leiteiras geralmente gastam de 9 a 12 h deitadas
425 (Endres e Barberg 2007; Mattachini et al., 2019). Ainda, a expressão deste
426 comportamento pode ser influenciada pelos dias em lactação, horário do dia Endres e
427 Barberg (2007) ou frequência de alimentação (Mattachini et al., 2019). Pela mesma
428 metodologia comportamental, Endres e Barberg (2007) observaram um total de
429 $43,3 \pm 28,5\%$ de vacas deitadas na cama.

430 Munksgaard et al. (2005) observaram que o tempo de deitar tinha prioridade em
431 relação às atividades como comer ou interagir sociavelmente. Estes autores verificaram
432 que em fazendas onde era realizadas três ordenhas, os animais se alimentavam e
433 buscavam a cama para se deitar, disponibilizando pouco tempo para outras atividades,
434 tais como o ócio em pé na pista ou o ócio em pé na cama.

435 Neste trabalho as vacas do G3 deitaram mais em relação aos outros grupos, isso
436 aconteceu porque o sistema era utilizado diretamente para esta finalidade. Foi observado
437 que as vacas do G3 deitavam mais durante o inverno em relação ao verão (Tabela 5),
438 (cerca de 19% a mais) mesmo submetidas ao mesmo tempo de ocupação nas duas
439 estações do ano. Na única fazenda do G3 onde o comportamento foi mensurado, os
440 bebedouros eram mantidos em uma única extremidade do estábulo, o que dificultava o
441 acesso pelas vacas. No inverno foi observado que o acesso era dificultado porque as

442 vacas se distribuíam uniformemente por toda a área de cama. No verão, as vacas
443 presentes nesta extremidade eram impedidas de se deitar normalmente para permitir o
444 acesso das demais aos bebedouros.

445 Também foi observado que nas condições térmicas do verão as vacas tinham a
446 tendência de procurar mais o bebedouro. Neste estudo, foi observado que o ITU se
447 manteve acima de 72 durante o verão, ainda, as vacas deitaram menos. Endres e
448 Barberg (2007) também observaram que as vacas deitaram menos quanto o ITU era
449 aumentado. Allen et al. (2015) também observaram que a proporção de vacas em pé foi
450 maior quando eram expostas a valores de ITU entre 80 e 89. Este comportamento de
451 permanecer mais tempo em pé nestas condições térmicas facilita a perda de calor para o
452 ambiente, sobretudo o metabólico. Ainda, Endres e Barberg (2007) sugerem que as
453 mudanças no comportamento podem indicar inquietação, estresse, ou uma necessidade
454 maior de caminhar até o bebedouro durante os períodos mais quentes. É importante que
455 o acesso aos bebedouros seja facilitado, porque as vacas disponibilizam cerca de 20 a 30
456 minutos por dia para o consumo de água potável, especialmente no verão (Molina et al.,
457 2019).

458 As vacas alojadas em sistemas totalmente confinados (G1 e G2) mantiveram
459 praticamente a mesma proporção de atividades independente da estação do ano. Este
460 resultado sugere que ambos os grupos proporcionaram comportamento semelhante dos
461 animais e a estação do ano não interferiu na execução das atividades.

462 De modo geral, a IA era a atividade menos praticada em todos os grupos e
463 estações climáticas avaliadas, isso porque é uma resposta comportamental de menor
464 frequência durante o dia, se comparado às outras respostas comportamentais avaliadas.
465 O acesso aos pontos de água geralmente acontecia na sequência de atividades como DC
466 ou IC.

467 Quando as vacas realizavam a atividade de ócio em pé, tinham a preferência de
468 fazê-la na cama ao invés da pista de alimentação. Várias podem ser as justificativas para
469 o maior percentual de vacas em OEPC em relação a OEPP. Os CB em geral têm uma
470 superfície de cama macia e seca que permite que as vacas se levantem e deitem sem
471 desconforto aparente (Endres e Barberg, 2007), o mesmo não ocorre na pista de
472 alimentação. Geralmente as vacas seguiam um padrão de comportamento diário, que
473 consistia em se alimentar, em seguida ingeriam água e procuravam a cama para deitar.
474 O sistema CB tem como diferencial a liberdade de movimento dos animais. Portanto, a

475 capacidade e liberdade de deitar-se e descansar à vontade são importantes para o bem-
476 estar (Endres e Barberg, 2007).

477 O sistema CB proporcionou boas condições de bem-estar para vacas alojadas na
478 região subtropical do Brasil. Além disso, o acesso ao pastejo melhorou a condição de
479 bem-estar do animais alojados em *Compost Barn* de uso parcial. Algumas medidas de
480 bem-estar e o comportamento das vacas leiteiras são influenciadas pela estação do ano.
481 Apesar de existirem indicativos de como é o comportamento de vacas leiteiras em CB,
482 ainda são escassos os trabalhos que avaliam o bem-estar por meio de um protocolo que
483 permita comparações com outros sistemas.

484

485

LITERATURA CITADA

486 Allen, J. D., L. W. Hall, R. J. Collier, and J. F. Smith. 2015. Effect of core body
487 temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating
488 dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 98:118-127.
489 doi:10.3168/jds.2013-7704.

490 Alsaad, M., S. Huber, G. Beer, P. Kohler, G. Schüpbach-Regula, and A. Steiner. 2017.
491 Locomotion characteristics of dairy cows walking on pasture and the effect of
492 artificial flooring systems on locomotion comfort. *J. Dairy Sci.* 100:8330-8337.
493 doi:10.3168/jds.2017-12760

494 Black, R. A., J. L. Taraba, G. B. Day, F. A. Damasceno, and J. M. Bewley. 2013.
495 Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer
496 satisfaction. *J. Dairy Sci.* 96:8060-8074. doi:10.3168/jds.2013-6778.

497 Blanco-Penedo, I., A. Kuipers, M. Klopčič, and U. Emanuelson. 2019. Comparing cattle
498 welfare in compost barns and freestalls in six European countries. In: *ADSA®*
499 *Annual Meeting*. Cincinnati, Ohio.

500 Buffington, D. E., A. Collazo-Arocho, G. H. Canton, D. Pitt, W. W. Thatcher, and R. J.
501 Collier. 1991. Black globe humidity index as a comfort equation for dairy cows.
502 *ASAE*. 24:711-714.

503 Burgstaller, J., J. Raith, S. Kuchling, V. Mandl, A. Hund, and J. Kofler. 2016. Claw
504 health and prevalence of lameness in cows from compost bedded and cubicle
505 freestall dairy barns in Austria. *Vet. J.* 216:81-86. doi:10.1016/j.tvjl.2016.07.006.

- 506 Burow, E., T. Rousing, P. T. Thomsen, N. D. Otten, and J. T. Sørensen. 2013. Effect of
507 grazing on the cow welfare of dairy herds evaluated by a multidimensional welfare
508 index. *Animal*. 7:834-842. doi:10.1017/S1751731112002297.
- 509 Cook, N. B., J. P. Hess, M. R. Foy, T. B. Bennett, and R. L. Brotzman. 2016.
510 Management characteristics, lameness, and body injuries of dairy cattle housed in
511 high-performance dairy herds in Wisconsin. *J. Dairy Sci.* 99:5879-5891.
512 doi:10.3168/jds.2016-10956.
- 513 Coignard, M., R. Guatteo, I. Veissier, A. de Boyer des Roches, L. Mounier, A. Lehébel,
514 and N. Bareille. 2013. Description and factors of variation of the overall health score
515 in French dairy cattle herds using the Welfare Quality® assessment protocol. *Prev.*
516 *Vet. Med.* 112:296-308. doi:10.1016/j.prevetmed.2013.07.018.
- 517 Costa, J. H. C., T. A. Burnett, M. A. G. Keyserlingk, and M. J. J. von Hötzel. 2018.
518 Prevalence of lameness and leg lesions of lactating dairy cows housed in southern
519 Brazil: Effects of housing systems. *J. Dairy Sci.* 101:2395–2405.
520 doi:10.3168/jds.2017-13462.
- 521 Des Roches, A., I. Veissier, M. Coignard, N. Bareille, R. Guatteo, J. Capdeville, E.
522 Gilot-Fromont, and L. Mounier. 2014. The major welfare problems of dairy cows
523 in French commercial farms: An epidemiological approach. *Anim. Welf.*
524 23:467–478. doi:10.7120/09627286.23.4.467
- 525 De Vries, M., E. A. M. Bokkers, C. G. van Reenen, B. Engel, G. van Schaik, T.
526 Dijkstra, and I. J. M. de Boer. 2015. Housing and management factors associated
527 with indicators of dairy cattle welfare. *Prev. Vet. Med.* 118:80-92.
528 doi:10.1016/j.prevetmed.2014.11.016.
- 529 Endres, M. I., and A. E. Barberg. 2007. Behavior of dairy cows in an alternative
530 bedded-pack housing system. *J. Dairy Sci.* 90:4192-4200. doi:10.3168/jds.2006-751.
- 531 Fávero, S., F. V. R. Portilho, A. C. R. Oliveira, H. Langoni, and J. C. F. Pantoja. 2015.
532 Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk
533 milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding. *Livest. Sci.*
534 181:220-230. doi:10.1016/j.livsci.2015.09.002.
- 535 Frazzi, E., L. Calamari, F. Calegari, and L. Stefanini. 2000. Behavior of dairy cows in
536 response to different barn cooling systems. *ASAE*. 43:387-394.
- 537 Janni, K. A., M. I. Endres, J. K. Reneau, and W. W. Schoper. 2007. Compost dairy barn
538 layout and management recommendations. *Appl. Eng. Agric.* 23:97-102.
539 doi:10.13031/2013.22333.

- 540 Johnson, H. D., A. C. Ragsdale, I. L. Berry, and M. D. Shanklin. 1962. Effect of various
541 temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. Research.
542 Bulletin. Missouri Agricultural. Experimental. Station, p.791.
- 543 Lobeck, K. M., M. I. Endres, E. M. Shane, S. M. Godden, and J. Fetrow. 2011. Animal
544 welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy
545 barns in the upper Midwest. J. Dairy Sci. 94:5469-5479. doi:10.3168/jds.2011-4363.
- 546 Grimard, B., A. de Boyer des Roches, M. Coignard, A. Lehébel, A. Chuiton, L.
547 Mounier, I. Veissier, R. Guatteo, and N. Bareille. 2019. Relationships between
548 welfare and reproductive performance in French dairy herds. Vet. J. 248:1-7.
549 doi:10.1016/j.tvjl.2019.03.006.
- 550 Mattachini, G., J. Pompe, A. Finzi, E. Tullo, E. Riva, and G. Provolo. 2019. Effects of
551 Feeding Frequency on the Lying Behavior of Dairy Cows in a Loose Housing with
552 Automatic Feeding and Milking System. Animals. 9:1-12. doi:10.3390/ani9040121.
- 553 Molina, L., E. Agüera, F. Maroto-Molina, and C. C. Pérez-Marín. 2019. Assessment of
554 on-farm welfare for dairy cattle in southern Spain and its effects on reproductive
555 parameters, J. Dairy Res. 1-12. doi:10.1017/S0022029919000207.
- 556 Miller, K., and D. G. M. Wood-Gush. 1991. Some effects of housing on the social
557 behavior of dairy cows. Anim. Prod. 53:271-278. doi:10.1017/S0003356100020262
- 558 Munksgaard, L., M. B. Jensen, L. J. Pedersen, S. W. Hansen, and L. Matthews. 2005.
559 Quantifying behavioural priorities—Effects of time constraints on behaviour of dairy
560 cows, *Bos Taurus*. Appl. Anim. Behav. Sci. 92:3-14
561 doi:10.1016/j.applanim.2004.11.005
- 562 Popescu, S., C. Borda, E. A. Diugan, M. Niculae, R. Stefan, and C. D. Sandru. 2014.
563 The Effect of the Housing System on the Welfare Quality of Dairy Cows. Ital. J.
564 Anim. Sci. 13:15-22. doi:10.4081/ijas.2014.2940.
- 565 Radavelli, M. R. 2018. Caracterização do sistema compost barn em regiões subtropicais
566 brasileiras. Dissertação. Mestrado em Zootecnia. Universidade do Estado de Santa
567 Catarina.
- 568 Shane, E. M., M. I. Endres, and K. A. Janni. 2010. Alternative bedding materials for
569 compost bedded pack barns in Minnesota: descriptive study. Appl. Eng. Agric.
570 26:465-473. doi:10.13031/2013.29952.
- 571 Olmos, G., L. Boyle, A. Hanlon, J. Patton, J. J. Murphy, and J. F. Mee. 2009. Hoof
572 disorders, locomotion ability and lying times of cubicle-housed compared to pasture-
573 based dairy cows. Livest Sci. 125:199-207. doi:10.1016/j.livsci.2009.04.009.

- 574 Wagner, K., J. Brinkmann, S. March, P. Hinterstoißer, S. Warnecke, M. Schüler, and H.
575 M. Paulsen. 2018. Impact of Daily Grazing Time on Dairy Cow Welfare—Results of
576 the Welfare Quality® Protocol. *Animals*. 8:1-11. doi:10.3390/ani8010001.
- 577 Welfare Quality Consortium. 2009. Welfare Quality assessment protocol for cattle.
578 [http://www, welfarequalitynetwork,net/](http://www.welfarequalitynetwork.net/) (Acessado julho 2019).

Tabela 1. Características quantitativas e qualitativas das fazendas leiteiras que utilizavam o *Compost Barn* (CB) enquadradas nos grupos 1, 2 e 3 (G1, G2 e G3), avaliadas no experimento (n=9).

Grupo	Propriedade	Altura de pé-direito; m	Local da pista de alimentação	Disponibilidade de bebedouros ¹	Taxa de lotação; m ² /animal	Número de animais	Frequência de ordenhas; vezes por dia
G1 ²	1	5,70	Lateral	14,34	10,78	83	2
	2	6,46	Lateral	19,51	24,56	61	2
	3	4,40	Lateral	7,31	12,18	123	Robotizada
G2 ³	1	CB1: 6,00 CB2: 4,15	Lateral	9,1	16,76	70	3
	2	6,00	Lateral	24,46	28,27	52	3
	3	3,00	Lateral	6,11	16,44	73	2
G3 ⁴	1	CB1: 2,45; CB2: 2,45	Central	9,62	9,06	26	2
	2	CB1; CB2: 3,20	Central	4,5	3,39	32	2
	3	4,78	Outra instalação	6,11	8	60	2

¹centímetros lineares por animal.

²G1 = composto por CB convencionais de grande porte.

³G2 = composto por CB convencionais ou adaptados.

⁴G3 = composto por CB de utilização parcial.

Tabela 2. Resumo das características microclimáticas observadas durante os períodos experimentais, e, função das estações do ano.

Estação climática	Variável	Média	Máxima	Mínima
Inverno	Temperatura do ar, °C (Temperatura do bulbo seco)	16,78	24,89	10,29
	Umidade relativa do ar, %	78,61	97,85	52,62
	Índice de temperatura de globo e umidade	64,63	79,94	54,19
	Índice de temperatura e umidade	61,42	71,96	51,07
Verão	Temperatura do ar, °C (Temperatura do bulbo seco)	24,50	31,47	19,80
	Umidade relativa do ar, %	80,91	97,10	60,85
	Índice de temperatura de globo e umidade	75,25	87,06	67,81
	Índice de temperatura e umidade	73,87	82,45	67,50

Tabela 3. Medidas do Protocolo Welfare Quality (WQ®) baseadas em animais, pontuações (média (máx-mín)) para propriedades leiteiras que utilizavam *Compost Barns*, divididos em três grupos (Grupo 1, 2 e 3) e duas estações (inverno e verão).

Medidas WQ®	Grupo 1, n=3		Grupo 2, n=3		Grupo 3, n=3		P=valor		
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Grupo	Estação	Interação
% de vacas muito magras	10 (21-3)	7 (13-4)	6 (12-2)	3 (4-3)	8 (11-4)	7 (11-3)	NS	NS	NS
Duração dos movimentos deitados; s	4 (5-4)a	4 (4-3)b	5 (5-4)a	3 (3-2)b	4 (5-4)a	4 (4-3)b	NS	<0,05	<0,05
% de vacas que deitam colidindo com equipamentos	0,00	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)			
% de vacas deitadas fora da área de repouso	0,00	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)			
% de vacas com perna suja	59 (88-43)	67 (90-51)	91 (97-84)	87 (88-86)	71 (86-52)	51 (89-18)	NS	NS	NS
% de vacas com úbere sujo	13 (24-7)	23 (35-5)	15 (23-6)	24 (25-24)	7 (12-4)	17 (30-8)	NS	NS	NS
% de vacas com coxas e flanco sujos	33 (54-17)	34 (41-19)	36 (46-28)	40 (42-38)	14 (23-8)	26 (47-2)	NS	NS	NS
% de vacas não mancas	78 (86-64)	91 (96-87)	87 (89-84)	94 (97-92)	88 (94-78)	91 (100-82)	NS	NS	NS
% de vacas moderadamente mancas	8 (13-1)	6 (8-4)	11 (13-10)	4 (6-2)	8 (14-2)	8 (15-0)	NS	NS	NS
% de vacas gravemente mancas	1 (2-0)	2 (3-1)	2 (3-1)	2 (3-2)	4 (8-1)	2 (3-0)	NS	NS	NS
% de vacas sem lesão	51 (66-43)	45 (54-36)	43 (49-32)	50 (53-48)	41 (54-30)	44 (51-39)	NS	NS	NS
% de vacas com pelo menos um espaço sem pelos, sem lesão	14 (21-7)	10 (16-5)	13 (21-8)	7 (10-4)	5 (9-0)	8 (9-7)	NS	NS	NS
% de vacas com pelo menos uma lesão	30 (32-28)	45 (55-39)	43 (49-37)	42 (47-37)	52 (61-41)	43 (53-31)	NS	NS	NS
Tosse	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (1-0)	NS	NS	NS
% de vacas com descarga nasal	20 (27-11)	17 (25-9)	13 (19-7)	16 (16-15)	11 (13-6)	7 (12-2)	NS	NS	NS
% de vacas com descarga ocular	1 (2-1)	1 (2-0)	3 (10-0)	0 (1-0)	1 (2-0)	2 (3-0)	NS	NS	NS
Respiração dificultada	0 (0-0)	1 (4-0)	0 (0-0)	3 (4-2)	0 (0-0)	10 (16-5)	NS	NS	NS
% de vacas com diarreia	9 (12-5)a	8 (13-0)b	21 (22-19)a	11 (14-8)b	17 (25-12)a	9 (14-0)b	NS	<0,05	NS
% de vacas com corrimento vulvar	1 (2-0)	1 (3-0)	2 (4-1)	1 (1-1)	2 (3-2)	1 (3-0)	NS	NS	NS
% de vacas com mastite	1 (2-0)	1 (2-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (2-0)	1 (2-0)			
% de mortalidade	4 (5-2)	4 (5-3)	7 (14-3)	4 (6-3)	3 (6-0)	3 (6-0)	NS	NS	NS
% de distorcias	11 (24-0)	11 (24-0)	10 (15-7)	11 (15-7)	6 (9-4)	6 (9-4)	NS	NS	NS
% de vacas caídas	6 (12-3)	6 (12-3)	3 (5-0)	2 (4-0)	5 (12-0)	5 (12-0)			
Frequência de cabeçadas/vaca/hora	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)			

Frequência de eventos agressivos/vaca/hora	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (1-0)	0 (1-0)	NS	NS	NS
% de vacas que podem ser tocadas	25 (31-37)	27 (38-5)	23 (36-4)	26 (34-18)	26 (37-17)	33 (38-30)	NS	NS	NS
% de vacas que podem ser tocadas em até 50 cm	47 (52-53)	40 (48-27)	47 (60-37)	35 (39-31)	55 (71-44)	42 (46-37)	NS	NS	NS
% de vacas que podem ser tocadas entre 50 e 100 cm	15 (17-22)	16 (18-13)	19 (35-8)	20 (21-20)	10 (10-9)	17 (23-9)	NS	NS	NS
% de vacas que não podem ser abordadas	13 (16-19)	15 (28-7)	11 (25-3)	19 (31-8)	9 (20-2)	8 (10-7)	NS	NS	NS

Tabela 4. Pontuações médias (máximas e mínimas) de acordo com os quatro princípios do Protocolo Welfare Quality® (WQ®), divididos em onze critérios para os três grupos (Grupo 1, 2 e 3) e duas estações climáticas (inverno e verão).

Princípios e critérios	Grupo 1; n=3		Grupo 2; n=3		Grupo 3; n=3		P=valor		
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Grupo	Estação	Grupo vs. Estação
1º princípio: Boa alimentação	70	64	75	85	56	59	NS	NS	NS
AFP ¹	58 (79-30)	61 (73-41)	68 (88-53)	79 (79-79)	56 (73-44)	61 (78-45)	NS	NS	NS
ASP ²	100 (100-100)	77 (100-32)	100 (100-100)	100 (100-100)	64 (100-32)	64 (100-32)	NS	NS	NS
2º princípio: Bom alojamento	76	76	74	72	83	83	NS	NS	NS
CAR ³	62 (73-54)	62 (71-56)	59 (64-54)	56 (56-56)	72 (84-59)	73 (95-54)	NS	NS	NS
FM ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3º princípio: Boa saúde	35	34	32	33	31	32	NS	NS	NS
AL ⁵	59 (74-50)	53 (61-46)	48 (56-41)	56 (61-51)	46 (59-31)	55 (74-40)	NS	NS	NS
AD ⁶	31 (51-21)	31 (43-21)	26 (32-22)	26 (27-25)	29 (32-27)	31 (45-15)	NS	NS	NS
APIPM ⁷	44 (52-28)	44 (52-28)	52 (52-52)	52 (52-52)	36 (52-28)	36 (52-28)	NS	NS	NS
4º princípio: Comportamento apropriado	24b	25b	24b	19b	44a	40a	<0,05	NS	NS
ECS ⁸	91 (93-88)	89 (94-81)	90 (94-85)	92 (94-91)	82 (92-64)	79 (90-59)	NS	NS	NS
EOC ⁹	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	100 (100-100)	100 (100-100)			
BRHA ¹⁰	45 (60-35)	45 (54-30)	47 (61-28)	39 (50-29)	53 (61-39)	51 (56-47)	NS	NS	NS
EP ¹¹	39 (45-30)	44 (50-38)	36 (41-29)	24 (34-14)	30 (44-7)	23 (30-20)	NS	NS	NS

¹AFP: ausência de fome prolongada

²ASP: ausência de sede prolongada

³CAR: conforto em torno do repouso

⁴FM: facilidade de movimento

⁵AL: ausência de lesões

⁶AD: ausência de doenças

⁷APIPM: ausência de dor induzida por procedimentos de manejo

⁸ECS: expressão de comportamentos sociais

⁹EOC: expressão de outros comportamentos

¹⁰BRHA: boa relação homem-animal

¹¹EP: estado emocional positivo

Tabela 5. Percentual dos comportamentos ingestão de alimento (IC), ingestão de água (IA), ócio em pé na cama (OEPC), ócio em pé na pista de alimentação (OEPP), deitado na cama (DC) observados nas vacas alojadas em CB (Grupo 1, 2 e 3) e em duas estações do ano.

Comportamento	Inverno			Verão		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Ócio em pé na cama, OEPC; %	18,18±7,8	15,64±11,6	12,01	18,84±9,3	21,73±6,8	35,49
Ócio em pé na pista de alimentação, OEPP; %	10,93±8,7	3,46±1,3	11,27	9,26±5,0	2,36±1,0	5,37
Deitado na cama, DC; %	45,38±13,1	52,57±12,0	76,61	48,76±15,8	43,77±9,7	57,40
Ingestão de alimento, IC; %	21,88±3,0	26,06±6,7	-	19,50±1,4	28,43±3,1	-
Ingestão de água, IA; %	3,42±0,9	2,25±0,6	0,27	3,64±2,3	3,68±1,1	1,72

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de nas propriedades dos Grupos 1 e 2 terem sido observadas melhores características de cama, é importante evidenciar que o bom funcionamento do sistema depende da adoção de alguns manejos diários. O revolvimento da cama em profundidade suficiente e seu manejo realizado duas vezes ao dia viabilizam a entrada de oxigênio na cama para promover adequada condição de compostagem. Por sua vez, o microclima interno da instalação repercute na eficiência da compostagem da cama, porque a alta umidade relativa do ar dificulta a perda de umidade da cama para o ambiente. Por sua vez, a implementação de ventilação mecânica pode melhorar estas condições, mas o mal dimensionamento da ventilação mecânica não garante a eficiência do processo. Além disso, a presença de bloqueios para a circulação do ar no interior da instalação ou na sua volta diminui as chances de garantir ventilação nas proporções adequadas. Mesmo que, seja difícil manter as características desejáveis de umidade relativa e temperatura da cama, é importante que o seu manejo de revolvimento seja constante e independente da estação do ano. Pois, prevenir que a cama alcance umidades excessivas pode ser um diferencial na prática. Acaso se apresente excessivamente úmida é importante que haja reposição com material seco, mesmo que seja oneroso para o sistema. Desta forma garante o aumento da longevidade do material pela diminuição do teor de umidade e continuação do processo de compostagem.

É importante que a qualidade de cama se mantenha, independente do ponto amostrado ou da estação climática, e devido a isso indicam-se estudos aprofundados para compreender as particularidades de cada instalação. Neste estudo, observou-se que a ocupação animal em diferentes áreas da cama interfere nos parâmetros físico-químicos, sobretudo, na umidade da cama.

O estudo descritivo mostrou resultados satisfatórios no microclima interno das instalações. No entanto, ficou evidente o aumento do ITGU no verão, para todas as propriedades do estudo. Notou-se que a inconstância da velocidade do vento no interior das instalações poderia ser melhorada com o melhor dimensionamento dos ventiladores para melhorar as condições térmicas e melhorar a secagem da cama. Neste sentido, um fator limitante deste trabalho foi a ausência da apresentação dos resultados de velocidade do vento devido a grande variação observada para a ventilação no interior de uma mesma instalação

(conforme a avaliação próxima ou distante do ventilador). Além disso, foram encontradas falhas construtivas em algumas instalações, independente do grupo avaliado. O pé-direito em alturas abaixo do preconizado, orientação solar da instalação e profundidade de cama. Portanto, é importante compreender as falhas do sistema e implementar a instalação para que proporcione conforto aos animais e longevidade da cama.

O bem-estar dos animais alojados remete à uma condição de conforto para que consigam expressar seu máximo potencial produtivo. Neste estudo, foi utilizado um protocolo que permitiu avaliar a condição total de bem-estar do sistema e foi possível compara-lo com demais trabalhos da literatura. Foi possível perceber que o *Compost Barn* ofereceu uma condição de bem-estar melhorado, sendo uma classificação adequada em relação a outros sistemas avaliados por outros autores. O comportamento das vacas alojadas demonstrou-se satisfatório, mesmo com as vacas do Grupo 3 se deitando menos no verão, o que sugere que poderiam estar em uma condição de estresse térmico. Ainda, são escassos os trabalhos que estudem o bem-estar e o comportamento de vacas leiteiras alojadas em *Compost Barn*, devido ser um sistema relativamente novo praticado na bovinocultura de leite.

Foram encontradas algumas limitações durante a aplicação do protocolo WQ®. Algumas condições rotineiras de campo, como por exemplo a demonstração de cio durante a observação dos comportamentos agonísticos; induziram à uma resposta não condizente com a comum realidade da fazenda amostrada. Embora tenham sido avaliados três grupos homogêneos de estábulos de um mesmo sistema, vale ressaltar que as fazendas leiteiras tinham manejos muito distintos entre si. Estas diferenças podem induzir a resultados não esperados na pesquisa, tais como alto CV de um mesmo grupo.

Mesmo que o bem-estar dos animais em *Compost Barn* se apresente satisfatório, sua relação com o comportamento melhora a avaliação de uma propriedade, sobretudo quando se analisa um sistema de produção. É indispensável que um animal seja privado de descansar deitado, independente do sistema adotado. Quando o sistema é confinado é importante que a área de descanso promova condições de conforto para se deitar, que os animais tenham acesso ao exercício e disponibilidade de alimento e água potável. Foi percebido que o sistema *Compost Barn* concede estas características. No entanto, alguns limitantes encontrados em instalações de uso parcial sugerem que o sistema pode ser melhorado.

REFERÊNCIAS

ADAMS, J. Vegetation-climate interaction: how vegetation makes the global environment. New York. Ed. Springer, 2007. 274 p.

AMARAL, J. B.; TREVISAN, G.; TREMORI, M. T.; GUERRA, S. T. Fundamentos e aplicações da medicina veterinária forense no bem-estar de bovinos leiteiros: Revisão. **Portal Pubvet**, v.12, n.2, p.1-13, 2018.

ARIAS, R. A.; MADER, T. L. Determinación Del riesgo potencial de estrés térmico del ganado bovino en cuatro localidades del centro y sur de Chile. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v.42, n.1, p.33-39, 2010.

BARBERG, A. E.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Compost dairy barns in Minnesota: a descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v.23, p.231-238, 2007.

BERNABUCCI, U.; LACETERA, N.; BAUMGARD, L.H.; RHOADS, R.P.; RONCHI, B.; NARDONE, A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v.4, n.7, p.1167-83, 2010.

BERMAN, A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of animal science**, v.83, n.6, p.1377-1384, 2005.

BEWLEY, J. M., J. L. TARABA, G. B. DAY, and R. A. BLACK. **Compost bedded pack barn design features and management considerations**. Cooperative Extension Publ. ID-206, Cooperative Extension Service, University of Kentucky College of Agriculture, Lexington KY, 2012.

BEWLEY, J. M.; TARABA, J. L.; MCFARLAND, D.; GARRETT, P.; GRAVES, R.; HOLMES, B.; KAMMEL, D.; PORTER, J.; TYSON, J.; WEEKS, S.; WRIGHT, P. Guidelines for managing compost bedded-pack barns. **The Dairy Practices Council**, 2013.

BEWLEY, J.M.; TARABA, J.L. **Compost Bedded Pack Barns in Kentucky**. University of Kentucky Extension Factsheet ID-178. 2009.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; BEWLEY, J. M. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.8060-8074, 2013.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; NEWMAN, M. C.; AKERS, K. A.; WOOD, C. L.; MCQUERRY, K. J.; BEWLEY, J. M. The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.2669–2679, 2014.

BLACK, R. A.; KRAWCZEL, P. D. A case study of behaviour and performance of confined or pastured cows during the dry period. **Animals**, v.6, p.1-41, 2016.

BLANCO-PENEDO, I.; KUIPERS, A.; KLOPCIC, M.; EMANUELSON, U. Comparing cattle welfare in compost barns and freestalls in six European countries. In: ADSA® Annual Meeting. Cincinnati, Ohio, 2019.

BLOKHUIS, H. J.; VEISSIER, I.; MIELE, M.; JONES, B. The Welfare Quality® project and beyond: Safeguarding herd animal wellbeing. **Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science**, v.60, p.129–140, 2010.

BUFFINGTON, D. E; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R. J. Black globe humidity index as a comfort equation for dairy cows. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711 -714, 1981.

COOK, N. B. Free-stall Design for Maximum Cow Comfort. **WCDS Advances in Dairy Technology**, v. 21, p. 255-268, 2009.

COOK, N. B.; HESS, J. P.; FOY, M. R.; BENNETT, T. B.; BROTZMAN, R. L. Management characteristics, lameness, and body injuries of dairy cattle housed in high-performance dairy herds in Wisconsin. **Journal of Dairy Science**, v.99, p.1–13, 2016.

COSTA, J. H. C.; BURNETT, T. A.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; HÖTZEL, M. J. Prevalence of lameness and leg lesions of lactating dairy cows housed in southern Brazil: Effects of housing systems. **Journal of Dairy Science**, v.101, p.1–11, 2017.

DAMASCENO, F.A. **Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model**. 2012. 404 f. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

DANIELI, B.; CONTE, R.A.; RADAVELLI, W.; DREHMER, L.V.; RIGON, F.; ZAMPAR, A.; ARAUJO, D.N.; SCHOGOR, A.L. Caracterização das instalações e avaliação da ambiência em sistemas Compost Barn no Oeste Catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 16., 2016, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: Zootec, 2016.

DE GRAAF, S. AMPE, B.; WINCKLER, C.; RADESKI, M.; MOUNIER, L. ; KIRCHNER, M. K.; HASKELL, M. J. VAN EERDENBURG, F. J. C. M.; DE BOYER DES ROCHES, A.; ANDREASEN, S. N.; BIJTTEBIER, J.; LAUWERS, L.; VERBEKE, W.; TUYTTENS, F. A. M. Trained-user opinion about Welfare Quality measures and integrated scoring of dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, v.100, n.8, p.1–13, 2017.

ENDRES, M.I. Compost Bedded Pack Barns – Can They Work For You? **WCDS Advances in Dairy Technology**, v.21, p.271-279, 2009.

ENDRES, M.I.; BARBERG, A.E. Behavior of dairy cows in an alternative bedded-pack housing system. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.9, p.4192-4200, 2007.

ECKELKAMP, E. A.; TARABA, J. L.; AKERS, K. A.; HARMON, R. J. Understanding compost bedded pack barns: Interactions among environmental factors, bedding characteristics, and udder health. **Livestock Science**, v.190, p.35-42, 2016.

FÁVERO, S.; PORTILHO, F.V.R.; OLIVEIRA, A.C.R.; LANGONI, H.; PANTOJA, J.C.F. Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding. **Livestock Science**, v.181, p.1871-1413, 2015.

FAWC. Conselho de Assistência a Animais de Fazenda Cinco Liberdades. No Farm Animal Welfare Council; FAWC: Londres, Reino Unido, 1979.

GALAMA, P. Prospects for bedded pack barns for dairy cattle. **Wageningen UR Livestock Research**, 2011.

GALAMA, P. On farm development of bedded pack dairy barns in the Netherlands.

Wageningen UR Livestock Research, 2014.

GRIMARD, B.; DE BOYER DES ROCHES, A.; COIGNARD, M.; LEHÉBEL, A.; CHUITON, A.; MOUNIER, L.; VEISSIER, I.; GUATTEO, R.; BAREILLE, N. Relationships between welfare and reproductive performance in French dairy herds. **The Veterinary Journal**, v.248 p.1–7, 2019.

HAHN G.L. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. **Journal of Animal Science**, v.77, p.10-20, 1999.

HEINS, B. J.; SJOSTROM, L. S. ENDRES, M. I.; RENATO CARILLO, M.; KING, R.; MOON, R. D.; SORGE, U. S. Effects of winter housing systems on production, economics, body weight, body condition score, and bedding cultures for organic dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.102, p.706-714, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal**, Rio de Janeiro, v. 44, p.1-51, 2016.

JANNI, K.A.; ENDRES, M.I.; RENEAU, J.K.; SCHOPER, W.W. Compost dairy barn layout and management recommendations. **Applied Engineering in Agriculture**, v.23, p.97–102, 2007.

KADZERE, C.T.; MURPHY, M.R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, v.77, p.59 –91, 2002.

KIM, E.; LEE, D. H.; WON, S. AHN, H. Evaluation of optimum moisture content for composting of beef manure and bedding material mixtures using oxygen uptake measurement. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v.29, p.753-758, 2016.

KLAAS, I.C.; BJERG, B.; FRIEDMANN, S.; BAR, D. Cultivated barns for dairy cows: An option to promote cattle welfare and environmental protection in Denmark? **Dansk Veterinærtidsskrift**, v.93, p.20–29, 2010.

LAMP, O.; DERNO, M.; OTTEN, W.; MIELENZ, M.; NÜRNBERG, G.; KUHLA, B. Metabolic heat stress adaption in transition cows: differences in macronutrient oxidation between late-gestating and early-lactating German holstein Dairy Cows. **Plos one**, v.10, p.1-5, 2015.

LIANG, C.; DAS, K. C.; MCCLENDON, R. W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. **Bioresource Technology**, v.86, p.131-137, 2003.

LOBECK, K. M.; ENDRES, M. I.; SHANE, E. M.; GODDEN, S. M. FETROW, J. Animal welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy barns in the upper Midwest. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.5469–5479, 2011.

MOTA, V. C.; DE ANDRADE, E. T.; LEITE, D. F. Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento Compost Barn. **Portal Pubvet**. v.13, n.2, p.1-14, 2019.

MOURA, D.J.; BUENO, L. G. de F.; LIMA, K.A.O.; CARVALHO, T.M.R.; MAIA, A.P.de A.M. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.311-316, 2010.

NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M.S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, v.130, p.57–69, 2010.

NASCIMENTO, G. V.; CARDOSO, E. A.; BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B.; CAMBUÍ, G. B. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.9, p.28-36, 2013.

OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G. A. S.; DO NASCIMENTO, J. A. C.; SILVA, E.; FERREIRA, M. R. Geostatistics applied to evaluation of thermal conditions and noise in compost dairy barns with different ventilation systems. **Agronomy Research**, v.17, p.783–796, 2019.

PAUL, E. A. Soil microbiology, ecology and biochemistry: Academic press, 2014.

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; RANKRAPE, F.; VISMARA, E. S. Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. **Animal**, v.13, n.2, p.399-406, 2018.

PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; FARIAS MACHADO, N. A.; VIANA, V. D. S. S.; COSTA, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, p.1-10, 2019.

POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Jornal of Dairy Science**, v.100, p.8645-8657, 2017.

POPESCU, S.; BORDA, C.; DIUGAN, E. A.; SPINU, M.; GROZA, I. S.; SANDRU, C. D. Dairy cows welfare quality in tie-stall housing system with or without access to exercise. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v.55, p. 1-43, 2013.

RADAVELLI, M. R. **Caracterização do sistema compost barn em regiões subtropicais brasileiras**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2018.

SCHÜLLER, L. K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. **Theriogenology**, v.81, p.1050-1057, 2014.

SHANE, E. M.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v.26, p.465–473, 2010.

TAPKI, I; SAHIN, A. Comparison of the thermoregulatory behaviours of low and high producing dairy cows in a hot environment. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 99, p.1-11, 2006.

VAN GASTELEN, S.; WESTERLAAN, S.B.; HOUWERS, D.J.; VAN EERDENBURG, F.J.C.M. A study on cow comfort and risk for lameness and mastitis in relation to different types of bedding materials. **Journal Dairy Science**, v.94 p.4878–4888, 2011.

VASSEUR, E. Animal behavior and well-being symposium: Optimizing outcome measures of welfare in dairy cattle assessment. **Journal Animal Science**, v.95, p.1365–1371, 2017.

VINHAL, I. C.; COURA, L. M.; JÚNIOR, R. S. S.; RIBEIRO, T. I. M.; COSTA, R. A. D.; NOGUEIRA, F. A. S. Influence of temperature and ambient humidity on the confort index of animals of girolando and holstein cattle breeds kept in compost barn shed. **Sinapse Múltipla**, v.6, n.2, p.190-194, 2017.

WAGNER, K.; BRINKMANN, J.; MARÇO, S.; HINTERSTOISSER, P.; WARNECKE, S.; SCHÜLERE, M.; PAULSEN, H. M. Impact of daily grazing time on dairy cow welfare-results of the Welfare Quality® Protocol. **Animals**, v.8, p.1-11, 2018.

WEARY D.M.; TASZKUN I. Hock lesions and loose-stall design. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.697-702, 2000.

WELFARE QUALITY CONSORTIUM. 2009. Welfare Quality assessment protocol for cattle. Acesso em: mai 2019, disponível em: <<http://www.welfarequalitynetwork.net/>>.

WREGE, M.S.; STEIMETZ, S.; JUNIOR, C.R.; de ALMEIDA, I.R. **Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**, 2 ed. Brasília, 336p. 2012.

WOLF, K. **A portable sensor for measuring gas emissions from dairy compost bedded pack barns**. 2017. 103 f. These. (Theses and Dissertations) - Biosystems and Agricultural Engineering. University of Kentucky, 2017.

CARTA DE APROVAÇÃO DO CETEA



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA

LAGES
CENTRO DE CIÊNCIAS
AGROVETERINÁRIAS

*Comissão de Ética no
Uso de Animais*

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Compost barns: dinâmica de utilização da cama, bem-estar animal e desenvolvimento de tecnologias de manejo.", protocolada sob o CEUA nº 6933110718 (ID 000686), sob a responsabilidade de **Ana Luiza Bachmann Schogor** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade do Estado de Santa Catarina (CEUA/UDESC) na reunião de 08/08/2018.

We certify that the proposal "Compost barns: dynamics of bed utilization, animal welfare and development of management technologies.", utilizing 800 Bovines (800 females), protocol number CEUA 6933110718 (ID 000686), under the responsibility of **Ana Luiza Bachmann Schogor** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the University of Santa Catarina State (CEUA/UDESC) in the meeting of 08/08/2018.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa (Acadêmica)**

Vigência da Proposta: de **08/2018** a **02/2019** Área: **Zootecnia**

Origem: **Animais de proprietários**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Fêmeas**

idade: **1 a 10 anos**

N: **800**

Linagem: **Holandesa**

Peso: **350 a 700 kg**

Local do experimento: As 9 propriedades rurais avaliadas estão localizadas nos municípios de Chapecó, Pinhalzinho, Guatambu e Xanxerê. O clima destes municípios é classificado (Koeppen) como Cfa Subtropical (mesotérmico úmido, com verões quentes), em que a temperatura média anual é de 18 a 19°C, precipitação média anual de 1.700 a 1.900 mm e umidade relativa do ar média entre 76 a 78% (SDR Chapecó, 2003).

Lages, 09 de julho de 2019

Marcia Regina Pfuetzenreiter
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ubirajara Maciel da Costa
Vice-Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade do Estado de Santa Catarina

ANEXO 1



Imagens das instalações relativas ao Grupo 1, convencionais de grande porte. A, propriedade 1; B, propriedade 2 e C, propriedade 3.

ANEXO 2



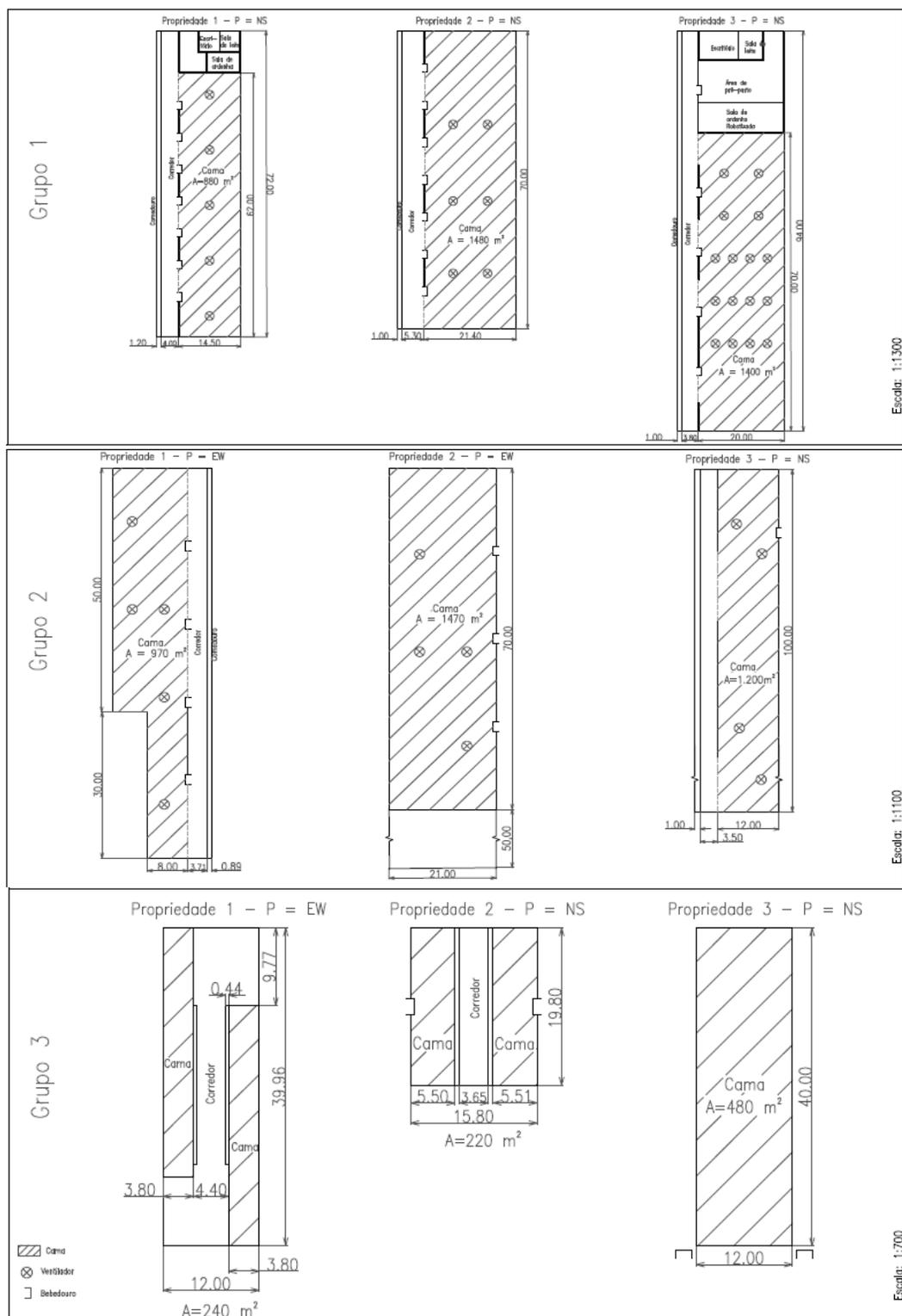
Imagens das instalações relativas ao Grupo 2, convencionais ou adaptados. A, propriedade 1; B, propriedade 2 e C, propriedade 3.

ANEXO 3



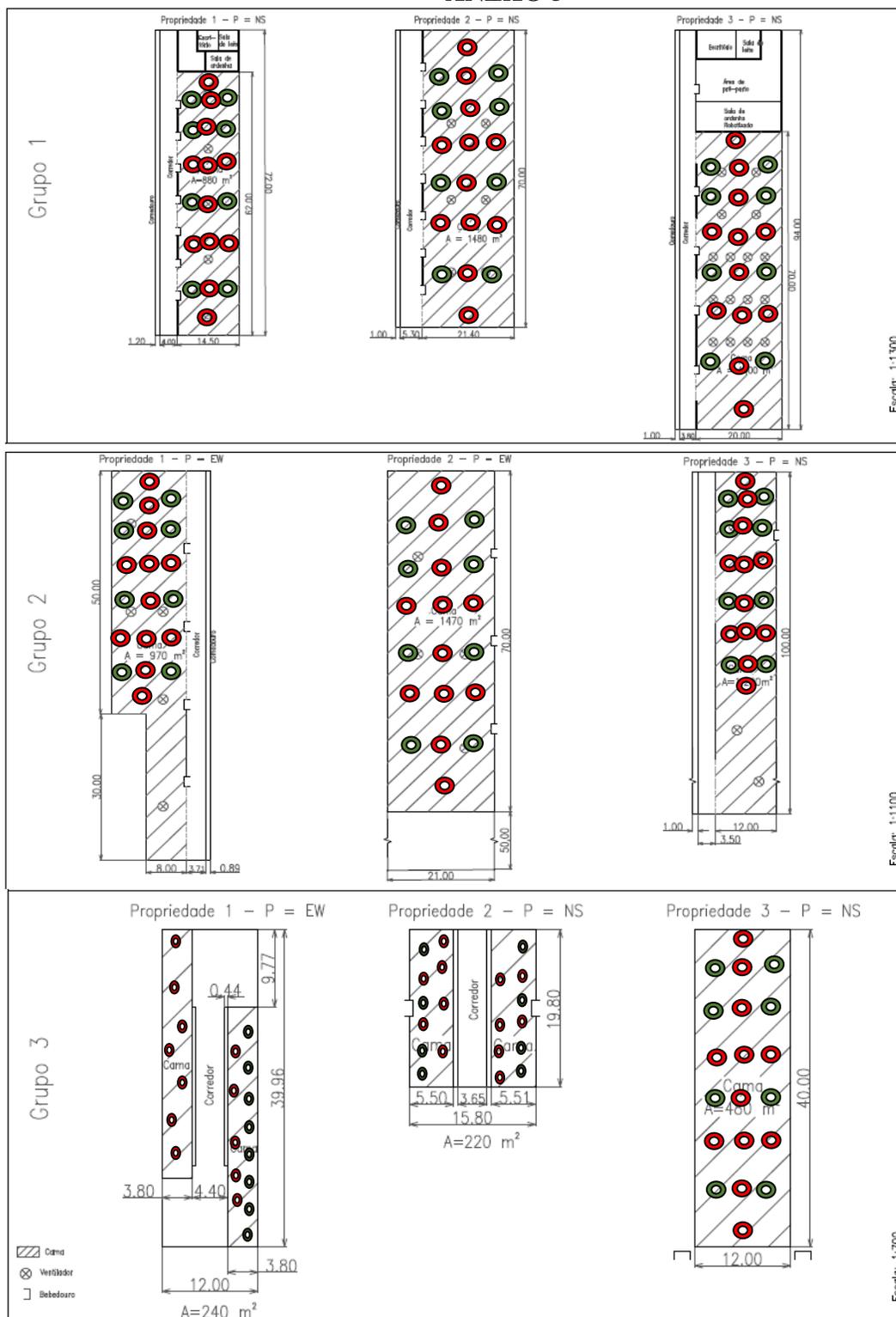
Imagens das instalações relativas ao Grupo 3, *Compost Barns* de uso parcial. A, propriedade 1; B, propriedade 2 e C, propriedade 3.

ANEXO 4



Plantas baixas dos Compost Barns avaliados no projeto, divididos por Grupos (1, 2 e 3). A área hachurada representa a área de cama.

ANEXO 5



Localização dos 20 (indicadores vermelho e verde) e 8 (indicadores verdes) pontos de amostragem em cada uma das plantas baixas dos *Compost Barns* avaliados no projeto, divididos por Grupos (1, 2 e 3). A área hachurada representa a área de cama.

