

LARISSA FERNANDA GARCIA CARVALHO

**EFEITO DO AMBIENTE TÉRMICO NO COMPORTAMENTO DE ORDENHA
DE VACAS LEITEIRAS CRIADAS A PASTO COM ACESSO A ORDENHA
VOLUNTÁRIA**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de
Medicina Veterinária e Zootecnia

Supervisor: Prof. Dr. Matheus Deniz

PROGRAMA DE PÓS-DOCTORADO DA UNESP

Botucatu
2026

RESUMO

A crescente adoção de sistemas de ordenha automatizada em rebanhos leiteiros tem ampliado a disponibilidade de informações sobre o comportamento e o desempenho dos animais, especialmente em sistemas com acesso ao pastejo. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo compreender o impacto do ambiente térmico no comportamento de ordenha, na produção de leite e na frequência de ordenha de vacas leiteiras criadas a pasto com acesso à ordenha voluntária. Foram utilizados dados provenientes de uma fazenda comercial localizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, com sistema de ordenha automatizada baseado em pastagem, composta por 33 hectares de Tifton 85 e rebanho médio de 133 vacas Girolando. O banco de dados, obtido entre 09 de janeiro e 20 de agosto de 2025, compreendeu inicialmente 44.112 registros individuais de ordenha, os quais foram submetidos a filtragem para remoção de inconsistências. Na primeira etapa, variáveis meteorológicas obtidas pela plataforma NASA/POWER foram utilizadas em análise de agrupamento para caracterizar três perfis climáticos distintos: Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido. A avaliação descritiva do boxplot indicou variação entre esses perfis para produção de leite, tempo de ordenha, tempo no box, fluxo médio de leite, intervalo entre ordenhas, número de eventos, ordenhas incompletas, ordenhas com coice e ordenhas com sangue. Na segunda etapa, restrita ao verão de 2025, dados de temperatura do ar e umidade relativa foram utilizados para o cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), avaliando-se seus efeitos sobre a produção média diária de leite e a frequência de ordenha por vaca por meio de modelos lineares mistos. Os resultados mostraram que o ITU máximo nos dias -2 e -3 esteve negativamente associado à produção diária de leite e à frequência de ordenha, enquanto o ITU mínimo apresentou associação positiva em parte das análises. De forma geral, os achados indicam que o ambiente térmico influenciou tanto o desempenho produtivo quanto a dinâmica de uso do sistema de ordenha automatizada, reforçando a importância do monitoramento ambiental e da adoção de estratégias de mitigação do estresse térmico em sistemas leiteiros a pasto.

Palavras-chaves: AMS; vacas Girolando; conforto térmico; análise de agrupamento; frequência de ordenha; diagnóstico de precisão.

1. INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas de ordenha automática (AMS da sigla em inglês) está se destacando devido ao potencial em realizar ordenhas de forma contínua, frequente e autônoma (Salfer, 2017). Esse é um aspecto importante considerando a escassez de mão de obra e o crescente êxodo rural (Monteiro et al., 2017). Dentre as vantagens da utilização de AMS, destacam-se: otimização do tempo despendido com as atividades diárias inerentes à atividade leiteira (Jensen et al., 2004), além da praticidade oferecida ao pecuarista a partir de dados coletados de maneira autônoma pelo sistema. As métricas produtivas do rebanho, tais como saúde do úbere e dos tetos, produção diária de leite, estado reprodutivo, consumo de concentrado e variações no peso corporal dos animais auxiliam na tomada de decisões e na avaliação da rentabilidade não apenas individual de cada vaca, mas também do sistema como um todo (Spahr; Maltz, 1997).

De maneira global, a adoção de AMS, em sua maioria está associada à produção de leite em sistemas de estabulação (Van Dooren et al., 2004). Contudo, a integração de AMS em sistemas a base de pasto pode se destacar como uma proposta interessante para países localizados em zonas intertropicais. Isso não apenas promove o bem-estar dos animais, considerando que o pastejo é um comportamento natural dos bovinos, mas também oferece vantagens econômicas, podendo reduzir os custos com alimentação do rebanho (Dillon et al., 2005; Cardoso et al., 2016). Combinados, tanto a criação de animais a pasto quanto a utilização do AMS, permitem a implementação de estratégias de manejo que maximizam a produção de leite. A fim de encontrar um equilíbrio entre a criação a pasto e o AMS, diversas formas de manejo podem ser adotadas. Por exemplo, a implementação do AMS em propriedades que utilizam intensivamente pastagens, onde as vacas têm acesso livre aos piquetes durante todo o dia, preconiza a plena utilização do pasto como fonte principal de alimento. Por outro lado, os sistemas de AMS localizados em estábulos podem ser projetados para permitir que, mesmo estabuladas, as vacas acessem os piquetes por períodos variáveis, dependendo das características do sistema adotado na propriedade. Neste caso, a pastagem é considerada um complemento da dieta oferecida no cocho, auxiliando no desempenho dos animais em busca de altos índices de produção de leite.

Independentemente das estratégias adotadas, em sistemas onde as vacas têm acesso ao pasto é importante estar atento às informações de fluxo de tráfego para o robô, pois tal parâmetro permite ao pecuarista dimensionar a produtividade, efetividade e índice de utilização do AMS, permitindo assim a iniciativa para tomadas de decisões, como por

exemplo a expansão do número de vacas em seu rebanho (Lessire et al., 2020). Embora a integração de AMS ao sistema a base de pasto possa ser interessante do ponto de vista animal e ambiental, o estresse térmico pode ser um desafio nesses sistemas. Em função das mudanças climáticas, o IPCC (2021) estima que irá ocorrer um aumento na temperatura média do planeta, e na duração e intensidade das ondas de calor e seca. Essas mudanças representam uma ameaça na viabilidade dos sistemas de produção leiteira, principalmente aqueles em que as vacas são criadas a pasto sem nenhum recurso de abatimento de calor. As variações de temperatura e umidade potencializam o estresse térmico no rebanho leiteiro decorrente dos desafios gerados pelos extremos climáticos (Coumou; Robinson, 2013; Lees et al., 2019). Devido a isso, a adaptabilidade e capacidade termotolerante dos animais dentro do rebanho são tópicos de grande relevância, pois tais características estão diretamente associadas às perdas produtivas (Osei-Amponsah et al., 2019).

Diminuição no consumo de ração, declínio na produção de leite (Renaudeau et al., 2012), desenvolvimento inadequado, problemas de bem-estar (Tucker et al., 2021) e baixo desempenho reprodutivo (Bernabucci et al., 2010) são os principais problemas relatados para bovinos leiteiros em condições de estresse térmico. As vacas leiteiras podem lidar com extremos de calor e frio durante curtos períodos, mas a produção eficiente exige que as vacas permaneçam dentro de sua zona de termoneutralidade pelo maior tempo possível (Collier; Gebremedhin, 2015; Domiciano et al., 2018). Em sistemas de estabulação o alívio do calor é fornecido pelo uso de sistemas de resfriamento convectivo (por exemplo, ventiladores; Vieira et al., 2021) e evaporativo (por exemplo, aspersores; Tresoldi et al., 2018); enquanto em sistemas à base de pasto, o fornecimento de sombra (natural por meio árvores; Deniz et al., 2019 ou artificial por meio de painéis solares; Sartori et al., 2026) é o principal elemento para a redução do calor. Dessa forma, em um contexto no qual as vacas leiteiras são criadas em sistemas a base de pasto, a incorporação de estratégias de abatimento de calor é essencial para mitigar os impactos adversos do estresse térmico no rebanho. Portanto é fundamental a compreensão e aplicação de medidas de abatimento de calor, não apenas para garantir o bem-estar animal, mas também para assegurar a viabilidade econômica e ambiental desses sistemas (Giannone et al., 2023). Ao adotar práticas que levam em consideração tanto o comportamento natural dos animais quanto as condições climáticas locais, os pecuaristas podem promover uma produção leiteira mais sustentável e resiliente, preparada para enfrentar os desafios das mudanças climáticas garantindo o futuro para a atividade.

2. OBJETIVOS

Compreender o impacto do ambiente térmico no comportamento e produção de leite de vacas criadas a pasto com acesso à ordenha voluntária. Além disso, visa desenvolver diagnósticos de precisão sobre o impacto do estresse por calor nos sistemas de pastagem utilizados na criação de bovinos de leite, com a intenção de oferecer soluções práticas para o setor produtivo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Informações Gerais

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética Comitê de Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista, Botucatu, sob protocolo número 000.301. O estudo foi conduzido com base em banco de dados previamente existente, sem a utilização direta de sujeitos humanos ou animais para a geração das informações analisadas.

3.1.1. Local e características do sistema de produção

Neste estudo, foram utilizados dados de uma fazenda comercial de ordenha automatizada baseada em pastagem, localizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. A fazenda possui uma área de 33 hectares de Tifton 85 (*Cynodon spp.*), dividida em 11 piquetes. O rebanho da fazenda era composto, em média, por 133 vacas da raça Girolando ($\frac{1}{2}$ Holandês $\times$ $\frac{1}{2}$ Gir). Aproximadamente 81 vacas (61%) eram multíparas, 27 vacas (20%) eram secundíparas e 26 vacas (19%) eram primíparas. Todas as vacas tinham livre escolha para serem ordenhadas em uma das duas unidades de ordenha automatizada da marca DeLaval® AMS, modelo V300 (DeLaval, Tumba, Suécia), e recebiam concentrado em dois momentos principais: durante a ordenha e após a ordenha, na estação de alimentação automatizada modelo Feed Station FSC400™ (DeLaval, Tumba, Suécia).

3.1.2. Área experimental e manejo alimentar

As vacas movimentavam-se voluntariamente pelo sistema, deslocando-se da pastagem para a sala de ordenha, passando pela estação de alimentação automatizada, cocho de alimentação destinado ao fornecimento da dieta parcialmente mista e, em seguida, retornando à pastagem, com acesso à ordenha disponível 24 horas por dia. As vacas deslocavam-se da pastagem por corredores unidirecionais até um conjunto de portões automáticos, localizados ~5 m da sala de ordenha. Esses portões se abriam

automaticamente quando vacas com ≤ 120 dias em lactação e produção ≥ 25 kg/dia permaneciam por mais de 6 horas sem ordenha, ou quando as demais vacas ultrapassavam 8 horas desde a última ordenha. Quando a vaca não tinha permissão para ordenha, era automaticamente direcionada de volta à pastagem pelos portões automáticos. O manejo do pastejo foi organizado com a disponibilização de uma nova área de pastagem a cada oito horas, correspondendo a três períodos de acesso ao pasto por dia. A dieta das vacas era composta por pastagem de Tifton 85 (*Cynodon* spp.), silagem de milho, caroço de algodão e concentrado.

3.1.3. Funcionamento do sistema de ordenha automatizada (AMS)

O sistema de ordenha automatizada era composto por duas unidades DeLaval® AMS, modelo V300, às quais as vacas tinham livre acesso, de acordo com os critérios de liberação estabelecidos no sistema. O processo de ordenha era realizado de forma automatizada, com identificação individual dos animais e fornecimento de concentrado conforme a programação de cada vaca. Após a ordenha, as vacas eram direcionadas à estação automatizada de alimentação, onde recebiam concentrado adicional, e, em seguida, retornavam à pastagem. Esse arranjo permitia fluxo contínuo e voluntário dos animais entre pastagem, alimentação e ordenha ao longo das 24 horas do dia.

3.2. Banco de dados

Cada vaca era identificada por meio de brinco de identificação eletrônica (HDX Ear Tags, DeLaval). Ao entrar na unidade de ordenha, a identidade do animal era reconhecida pelos sensores presentes no equipamento eletrônico. A partir desse reconhecimento, o sistema registrava um conjunto de informações individuais referentes a cada ordenha, incluindo, entre outras variáveis, os horários de entrada e saída da vaca no AMS, produção de leite e os eventos ocorridos durante o processo de ordenha. Todas essas informações eram integradas ao software de gerenciamento de rebanho da fazenda (DeLaval DelPro™), por meio de relatórios contendo dados diários e registros individuais de eventos de ordenha. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos no período de 09 de janeiro de 2025 a 20 de agosto de 2025.

3.2.1. Limpeza e tratamento dos dados

O conjunto de dados inicial compreendia 44.112 registros individuais de ordenha. Posteriormente, os dados foram submetidos a um processo de filtragem para remoção de registros inconsistentes, conforme a metodologia descrita por Carlström et al. (2013). Com o processo de filtragem foram excluídos os registros com intervalo entre ordenhas inferior a 5 horas ou superior a 30 horas, tempo no box de ordenha inferior a 1 minuto ou superior a 20 minutos, tempo de ordenha inferior a 0,3 minutos ou superior a 15 minutos, além de registros sem informação de produção de leite. A aplicação desses critérios resultou na remoção de 2,29% dos dados disponíveis para análise.

3.2.2. Variáveis obtidas pelos registros do AMS

As variáveis obtidas a partir dos registros do sistema de ordenha automatizada e utilizadas nas análises deste estudo estão descritas na Tabela 1. No banco de dados final, foram mantidas apenas as variáveis efetivamente utilizadas nas análises e apresentadas nos resultados.

Tabela 1. Características de ordenhabilidade e comportamento obtidas pelos registros do AMS que serão analisadas nesse estudo.

ORDENHABILIDADE	
Características	Descrição
Fluxo médio de leite	A metodologia adotada para essa característica foi descrita por Wethal e Heringstad (2019). As taxas de fluxo expressas em kg de leite por minuto de ordenha foram registradas de maneira individual para cada quarto do úbere durante o processo de ordenha. Para obter um único registro por ordenha dessa característica, foram utilizadas as médias dos valores de fluxo de leite médio dos quartos, analisados separadamente
Tempo no box	Para essa característica foi avaliado o tempo, em minutos, desde a entrada do animal na unidade de ordenha até sua saída, conforme a diferença entre a hora e minutos exatos de início e de término do processo de ordenha (LØVENDAHL; LASSEN; CHAGUNDA, 2011)
Tempo de ordenha	Foi calculado, em minutos, de acordo com a metodologia de Carlström et al. (2013). A partir dos registros de fluxo médio do leite foi calculado a razão entre a produção de leite (kg) e a taxa de fluxo médio do leite (kg/min) para cada quarto do úbere separadamente. Assim, ao ser calculado separadamente, o fluxo foi medido apenas durante o tempo que realmente o quarto foi ordenhado, sendo adicionados 30 segundos como uma constante ao tempo de fixação das teteiras. Dessa maneira, de acordo com Carlström et al. (2016), o tempo de ordenha da vaca foi definido como o tempo de ordenha mais longo dos quatro quartos, ou seja, o tempo desde o início da ordenha até o fluxo de leite terminar, quando a última teteira foi removida
Intervalo de ordenhas	Tempo, em horas, obtido no AMS, como a diferença entre a hora de início da ordenha atual e a hora de início da ordenha anterior (Carlström et al., 2013)
Frequência de ordenhas	Também obtida no AMS, foi definida como a quantidade de ordenhas por dia (WETHAL; HERINGSTAD, 2019)
Produção de leite	Corresponde à quantidade de leite produzida por vaca, obtida diretamente pelos registros do AMS em cada evento de ordenha ou em base diária
COMPORTAMENTO	
Características	Descrição

Ordenhas incompletas	Número de ordenhas diárias com o mínimo de um quarto mamário registrado como ordenha incompleta
Ordenhas com coices	Número de remoções prematuras ou inesperadas das teteiras de cada quarto do úbere durante o tempo da ordenha (Carlström et al., 2016)
Ordenhas com sangue	Proporção de ordenhas em que o sistema registrou ocorrência de sangue no leite durante o evento de ordenha

3.2.3. Ambiente térmico e caracterização dos perfis climáticos

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram obtidos a partir da plataforma *National Aeronautics and Space Administration Prediction of Worldwide Energy Resources* (NASA/POWER). Para a caracterização do ambiente térmico, foram considerados registros de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação, os quais foram utilizados na classificação dos perfis ambientais associados aos registros de ordenha. Com base nessas variáveis, foi realizada uma análise de agrupamento (*cluster analysis*) no software R, com o objetivo de classificar as condições ambientais em grupos climaticamente distintos. A partir desse procedimento, os registros foram agrupados em três perfis ambientais: Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido, os quais foram posteriormente utilizados para comparação das variáveis de ordenha. Adicionalmente, para a segunda etapa do estudo, foram utilizados dados meteorológicos horários de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%), também obtidos a partir da plataforma NASA/POWER, para o cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), conforme a equação proposta pelo NRC (1971):

$$ITU = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times UR) \times (1,8 \times T - 26)]$$

Onde: T representa a temperatura do ar em graus Celsius e UR a umidade relativa em porcentagem. Para essa etapa, foram considerados apenas os dados do verão, compreendendo o período de janeiro a março de 2025. Os valores de ITU foram determinados para o próprio dia da ordenha (0d) e para os três dias anteriores (-1d, -2d e -3d), sendo calculados os valores mínimo, médio e máximo para cada dia, de modo a permitir a avaliação tanto do efeito agudo quanto dos possíveis efeitos acumulados do ambiente térmico sobre as respostas produtivas e de ordenha.

3.2.4. Análise de dados

As análises estatísticas foram conduzidas em duas etapas complementares. Na primeira etapa, foi realizada uma análise exploratória de agrupamento ambiental com

base nas variáveis meteorológicas temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação, com o objetivo de classificar os registros em perfis ambientais distintos. Para isso, foi empregada uma análise de agrupamento (*cluster analysis*) no software R, permitindo a formação de três grupos climáticos: Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido. Após a definição desses perfis, foram realizadas comparações ajustadas entre os *clusters* para as variáveis obtidas pelos registros do sistema de ordenha automatizada, incluindo produção de leite, tempo de ordenha, tempo no box, fluxo médio de leite, intervalo entre ordenhas, proporção de ordenhas incompletas, proporção de ordenhas com coices e proporção de ordenhas com sangue.

Na segunda etapa, utilizando o mesmo banco de dados, porém restrito ao período de verão, compreendido entre janeiro e março de 2025, a produção de leite foi agregada em base diária por vaca, sendo posteriormente calculada a frequência diária de ordenha. Nessa etapa, a produção diária de leite (kg/dia) e a frequência de ordenha foram consideradas como variáveis dependentes. Para a caracterização do ambiente térmico, foram utilizados dados meteorológicos horários de temperatura do ar e umidade relativa, obtidos na plataforma NASA/POWER, a partir dos quais foi calculado o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Para a análise, foram considerados os valores de ITU mínimo, médio e máximo para o próprio dia da observação (0d) e para os três dias anteriores (-1d, -2d e -3d), permitindo avaliar tanto os efeitos agudos quanto os efeitos acumulados do ambiente térmico sobre as variáveis analisadas.

As análises da segunda etapa foram realizadas no software R, por meio de modelos lineares mistos ajustados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML). As variáveis de ITU mínimo, médio e máximo, calculadas para os dias 0d, -1d, -2d e -3d, foram incluídas nos modelos como efeitos fixos. Em razão da alta correlação entre as diferentes métricas de ITU, foram ajustados apenas modelos univariados, com a inclusão de uma variável de ITU por vez. Os resultados foram expressos na forma de coeficientes de regressão, erro-padrão e valor de *p*, adotando-se nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização dos perfis climáticos

A análise de agrupamento das variáveis meteorológicas permitiu a classificação dos registros em três perfis climáticos distintos: Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido (Figura 1). Esses resultados evidenciaram que a análise de resultados do cluster permitiu a distinção de condições ambientais contrastantes ao longo do período avaliado. A

característica de cada perfil climático é evidenciada na Tabela 2. Em resumo, o perfil Quente–Seco foi caracterizado por apresentar temperatura do ar elevada, menores valores de umidade relativa e maior velocidade do vento. O perfil Ameno–Úmido apresentou valores intermediários de temperatura do ar, maiores valores de umidade relativa e maior de ocorrência de precipitação; sendo o perfil com menor frequência de registros. O perfil Frio–Úmido foi definido pelos menores valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar moderada, menores valores médios de velocidade do vento e precipitação; sendo o perfil com maior frequência de registros.

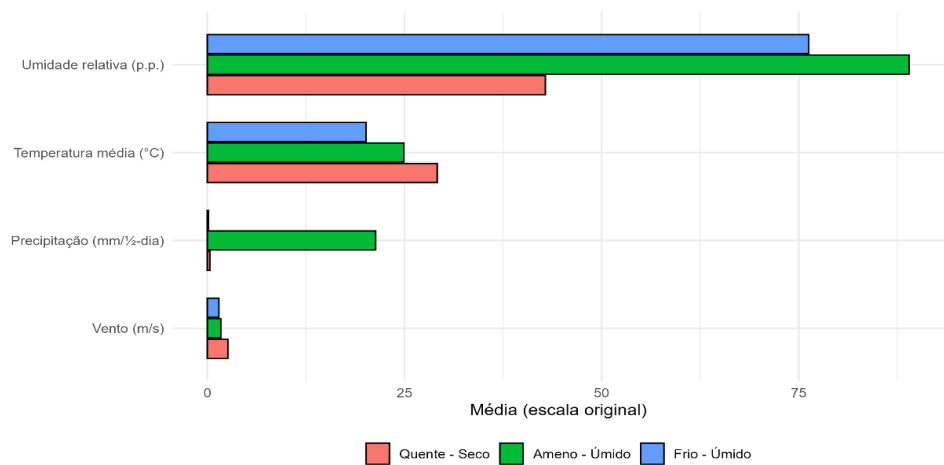


Figura 1. Representação dos perfis climáticos obtidos por análise de agrupamento com base nas variáveis meteorológicas temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação, classificando os registros em três grupos: Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido.

Tabela 2. Caracterização dos perfis climáticos obtidos por análise de agrupamento com base nas variáveis meteorológicas.

Cluster	Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)	Vento (m/s)	Precipitação (mm)	N
Quente – Seco	29.14	42.86	2.62	0.35	16.648
Ameno – Úmido	24.92	88.98	1.72	21.35	93
Frio - Úmido	20.13	73.27	1.47	0.15	24.363

4.2. Comparações descritivas das variáveis de ordenha entre os perfis climáticos

Com base nos perfis climáticos definidos pela análise de agrupamento, foi realizada a avaliação descritiva das variáveis de ordenha registradas pelo sistema automatizado. De modo geral, o boxplot indicaram variação entre os clusters para as variáveis produtivas e operacionais, embora com sobreposição entre os grupos. Assim, a descrição apresentada a seguir baseia-se no comportamento visual das distribuições e tem caráter descritivo.

4.2.1. Produção de leite

Para a produção de leite por ordenha, o perfil Quente–Seco apresentou os maiores valores centrais, seguido pelo perfil Ameno–Úmido, enquanto o perfil Frio–Úmido apresentou os menores valores (Figura 2). Esse padrão indica que, no período avaliado, as ordenhas associadas ao perfil Quente–Seco concentraram maior produção por evento, ao passo que o perfil Frio–Úmido reuniu os menores valores centrais da distribuição.

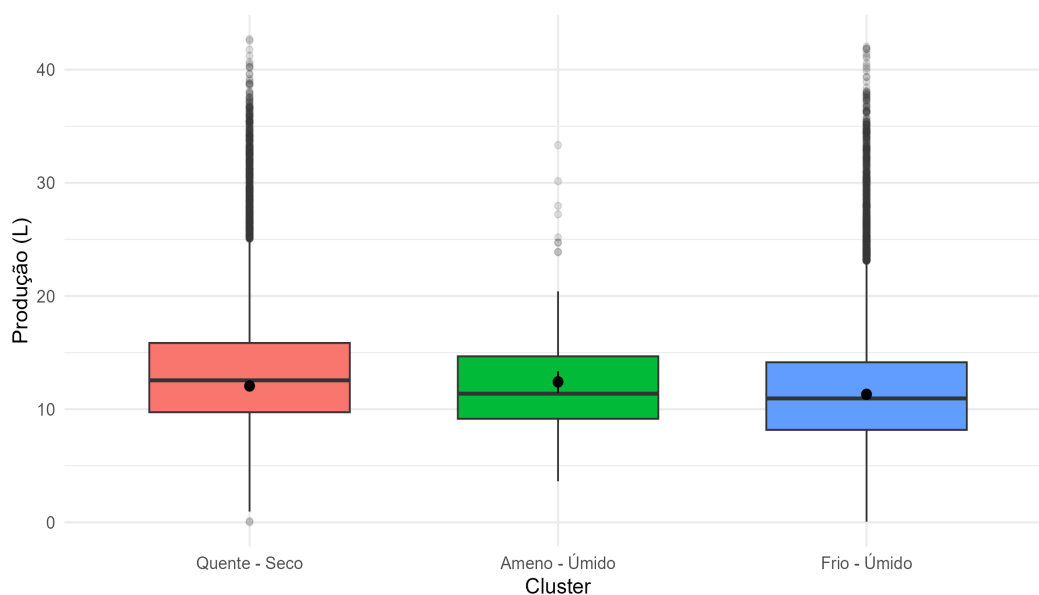


Figura 2. Distribuição da produção de leite por ordenha entre os perfis climáticos Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido.

4.2.2. Tempo de ordenha

Para o tempo de ordenha, foi observado comportamento diferente daquele verificado para a produção de leite (Figura 3). O perfil Ameno–Úmido apresentou os maiores valores centrais, seguido pelo perfil Quente–Seco, enquanto o perfil Frio–Úmido apresentou os menores valores. Esse padrão sugere que, nas condições classificadas como Ameno–Úmido, as vacas tenderam a permanecer mais tempo em ordenha, enquanto no perfil Frio–Úmido a duração da ordenha foi menor. Assim como na produção de leite, houve grande variação dos dados dentro de cada grupo e presença de valores extremos nos três perfis. Também foi observada sobreposição entre o boxplot, embora a tendência visual tenha indicado maior tempo de ordenha no perfil Ameno–Úmido e menor no perfil Frio–Úmido.



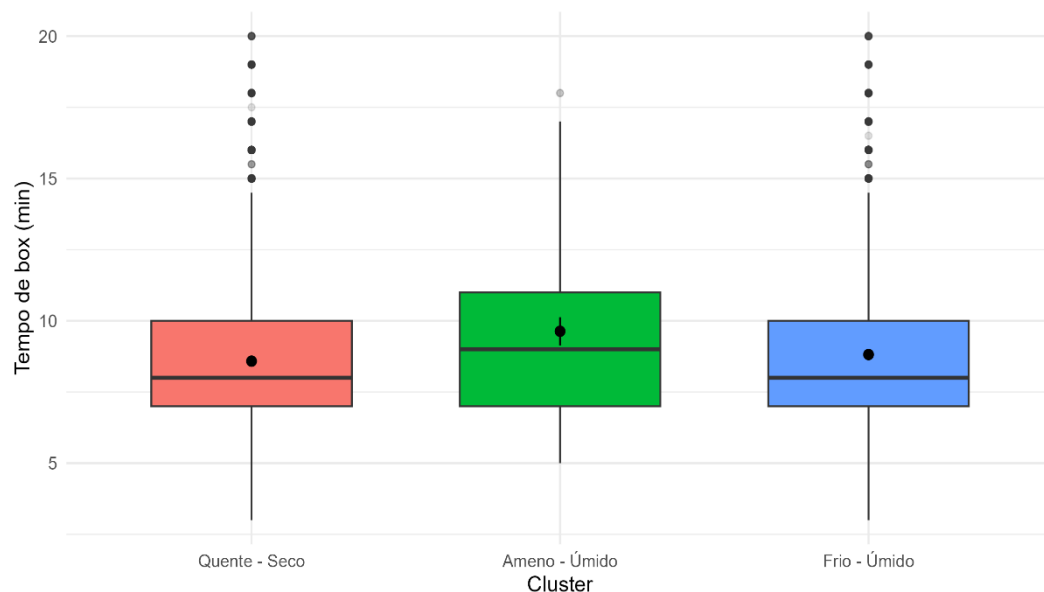


Figura 4. Distribuição do tempo de permanência no box de ordenha entre os perfis climáticos Quente-Seco, Ameno-Úmido e Frio-Úmido.

4.2.4. Fluxo médio de leite

Para o fluxo médio de leite, o boxplot indicou variação entre os perfis climáticos (Figura 5), sugerindo que as condições ambientais também podem estar associadas à velocidade média de retirada do leite durante a ordenha. O perfil Quente-Seco apresentou os maiores valores centrais, seguido pelo perfil Frio-Úmido, enquanto o perfil Ameno-Úmido concentrou os menores valores. Como essa variável está diretamente relacionada à dinâmica do processo, sua avaliação contribui para a interpretação conjunta dos resultados de produção e tempo de ordenha.

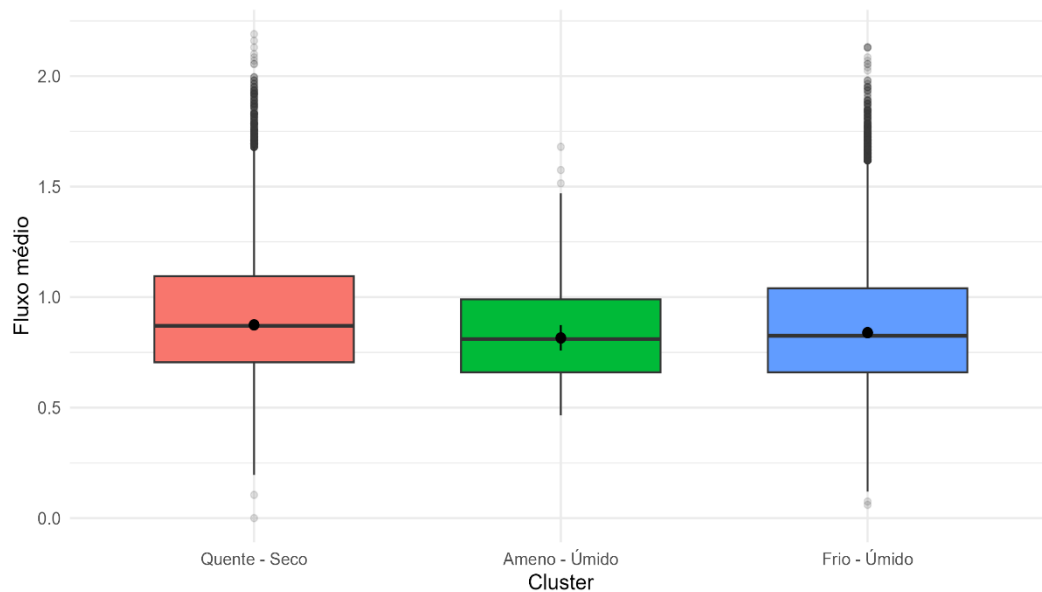


Figura 5. Distribuição do fluxo médio de leite entre os perfis climáticos Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido.

4.2.5. Intervalo entre ordenhas

O intervalo entre ordenhas também apresentou variação entre os perfis climáticos (Figura 6). Como essa variável representa o tempo transcorrido entre uma ordenha e a seguinte, seu comportamento pode refletir alterações no padrão de retorno das vacas ao sistema automatizado em diferentes condições ambientais. O perfil Frio–Úmido concentrou os menores valores centrais, enquanto o perfil Ameno–Úmido apresentou os maiores, com o perfil Quente–Seco em posição intermediária. Esse padrão sugere que, no período avaliado, as vacas associadas ao perfil Frio–Úmido tenderam a retornar em menor intervalo ao sistema de ordenha, ao passo que no perfil Ameno–Úmido os intervalos entre ordenhas foram ligeiramente maiores.

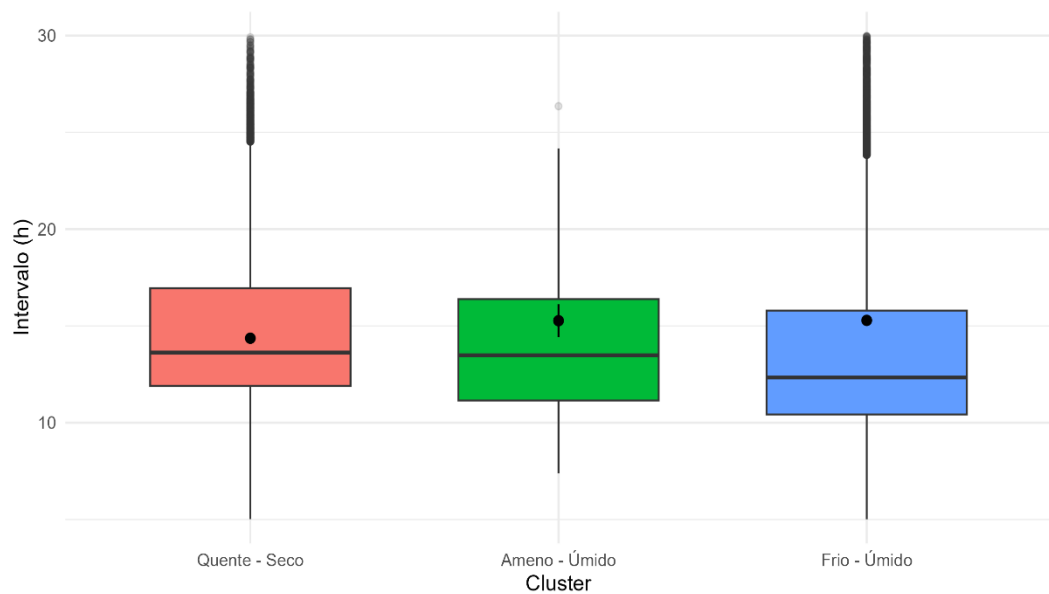


Figura 6. Distribuição do intervalo entre ordenhas entre os perfis climáticos Quente-Seco, Ameno-Úmido e Frio-Úmido.

4.2.6. Frequência de ordenhas

Para a frequência de ordenhas registrada pelo sistema, o boxplot indicou variação entre os perfis climáticos (Figura 7). Essa variável fornece informação sobre a dinâmica de uso do AMS e, por isso, é útil para avaliar possíveis mudanças no padrão de interação das vacas com o sistema em diferentes condições ambientais. O perfil Ameno-Úmido apresentou os maiores valores centrais, enquanto os perfis Quente-Seco e Frio-Úmido apresentaram valores inferiores e relativamente próximos entre si.

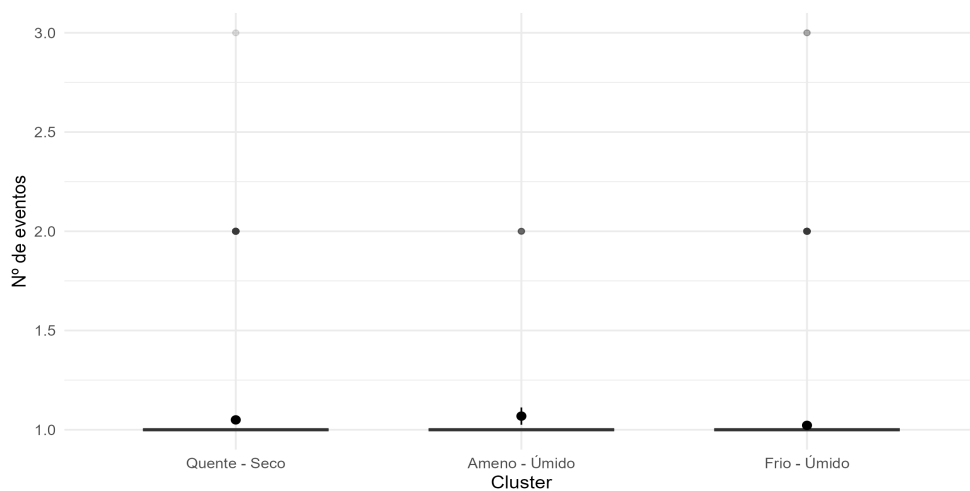


Figura 7. Distribuição do número de eventos registrados no sistema de ordenha automatizada entre os perfis climáticos Quente-Seco, Ameno-Úmido e Frio-Úmido.

4.2.7. Ordenhas incompletas

A proporção de ordenhas incompletas apresentou variação entre os perfis climáticos (Figura 8), indicando que a ocorrência desse evento também diferiu visualmente entre os grupos. O boxplot sugere diferenças entre os perfis, embora com sobreposição entre as distribuições. Como essa variável está relacionada à finalização do processo de ordenha, seu comportamento pode refletir alterações no padrão de uso do AMS ou no próprio comportamento das vacas durante a ordenha.

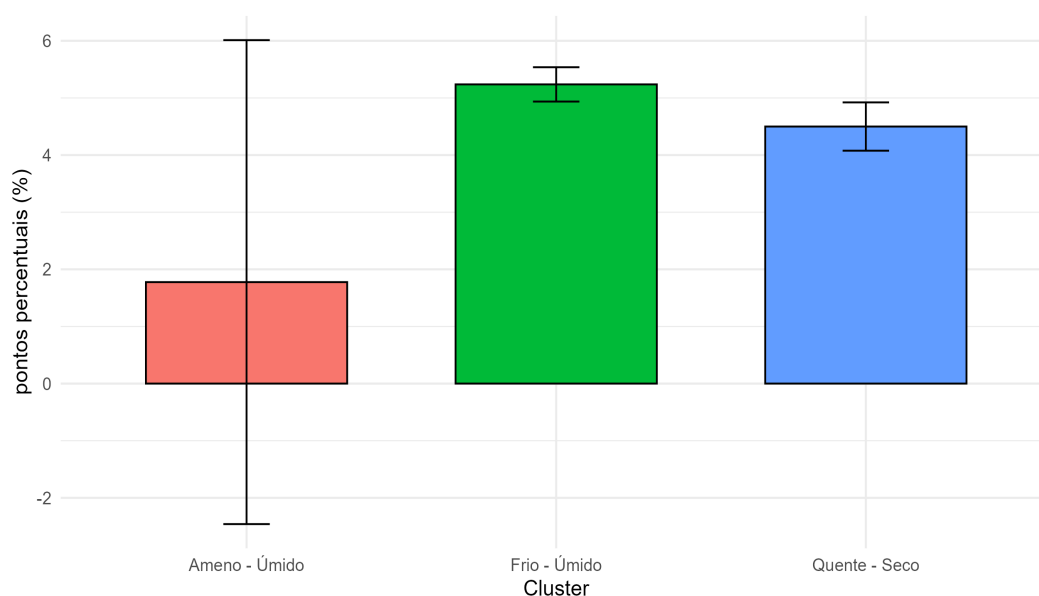


Figura 8. Distribuição da proporção de ordenhas incompletas entre os perfis climáticos Quente-Seco, Ameno-Úmido e Frio-Úmido.

4.2.8. Ordenhas com coice

A proporção de ordenhas com coice também variou entre os perfis climáticos (Figura 9). O boxplot evidenciou que a ocorrência de coices não foi uniforme entre os grupos, embora com sobreposição entre as distribuições. Como esse evento está relacionado à reação da vaca durante a ordenha, seu comportamento pode indicar resposta comportamental diferenciada em função das condições ambientais. A leitura do boxplot destaca que a ocorrência de coices não foi uniforme entre os grupos, sugerindo que o ambiente térmico pode ter influenciado a reatividade das vacas durante o uso do sistema automatizado.

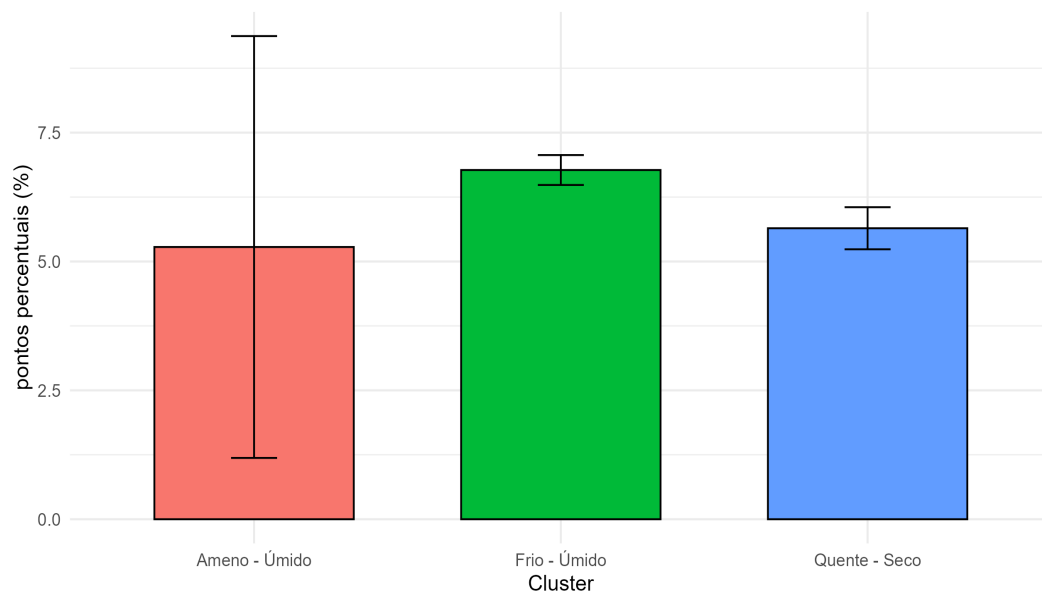


Figura 9. Distribuição da proporção de ordenhas com coice entre os perfis climáticos Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido.

4.2.9. Ordenhas com sangue

A proporção de ordenhas com sangue apresentou variação visual entre os perfis climáticos (Figura 10), indicando que esse evento também diferiu entre os grupos ao longo do período avaliado. A distribuição dos dados sugere que a ocorrência de ordenhas com sangue não foi uniforme entre os perfis climáticos, embora com sobreposição entre os grupos. Como se trata de um registro específico do processo de ordenha, sua ocorrência pode contribuir para a compreensão do comportamento das vacas e da resposta do sistema sob diferentes condições ambientais.

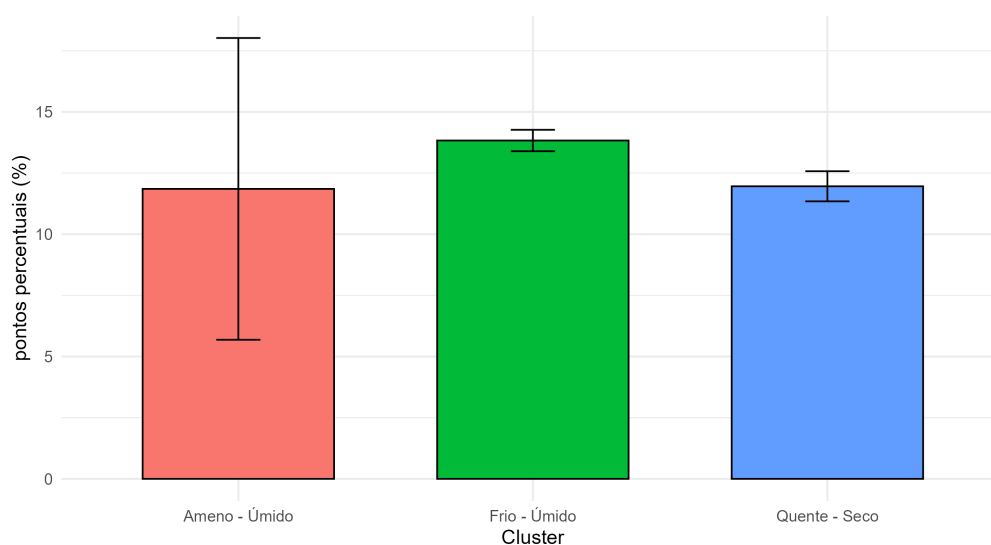


Figura 10. Distribuição da proporção de ordenhas com sangue entre os perfis climáticos Quente–Seco, Ameno–Úmido e Frio–Úmido.

4.3. Efeito do índice de temperatura e umidade sobre a produção diária de leite e a frequência de ordenha

Na segunda etapa das análises, foram avaliados os efeitos do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) sobre a produção média diária de leite e a frequência de ordenha por vaca. De modo geral, os efeitos observados variaram conforme a métrica de ITU considerada e o intervalo entre a exposição ambiental e a resposta avaliada (Tabela 3). Para a produção diária de leite, o ITU máximo do próprio dia da observação (0d) não apresentou efeito significativo ($p = 0,163$). Em contraste, os valores de ITU mínimo e ITU médio no dia 0 apresentaram associação positiva com a produção de leite. No dia anterior à ordenha (-1d), nenhuma das métricas avaliadas apresentou efeito significativo, embora o ITU mínimo tenha apresentado tendência de associação positiva ($p = 0,053$). Dois dias antes da ordenha (-2d), o ITU máximo apresentou associação negativa com a produção diária de leite ($CR = -0,149$; $p < 0,001$), enquanto o ITU mínimo apresentou associação positiva ($CR = 0,095$; $p < 0,001$). Três dias antes da ordenha (-3d), observou-se efeito negativo do ITU máximo ($CR = -0,167$; $p < 0,001$) e efeito positivo do ITU mínimo ($CR = 0,114$; $p < 0,001$). Contudo, o ITU médio não apresentou efeito significativo sobre a produção nos dias -2d e -3d.

Tabela 3. Coeficientes de regressão para o efeito do índice de temperatura e umidade (ITU) ordenha sobre a produção média diária de leite e a frequência de ordenha por vaca.

Dia	ITU	Produção de leite			Frequência de ordenha		
		CR ¹	Erro	p-valor	CR ¹	Erro	p-valor
0	Máximo	-0.061	0.044	0.163	-0.007	0.004	0.077
	Mínimo	0.110	0.019	<0.001	0.001	0.002	0.559
	Média	0.140	0.038	<0.001	-0.002	0.004	0.533
-1	Máximo	-0.049	0.045	0.272	0.004	0.004	0.281
	Mínimo	0.036	0.019	0.053	-0.003	0.002	0.070
	Média	0.058	0.038	0.127	-0.002	0.003	0.557
-2	Máximo	-0.149	0.043	<0.001	-0.009	0.004	0.029
	Mínimo	0.095	0.019	<0.001	-0.003	0.002	0.106
	Média	0.056	0.037	0.132	-0.008	0.003	0.016
-3	Máximo	-0.167	0.043	<0.001	-0.015	0.004	<0.001
	Mínimo	0.114	0.019	<0.001	0.005	0.002	0.008
	Média	0.061	0.037	0.100	-0.003	0.003	0.375

¹Coeficiente de regressão.

Para a frequência de ordenha, não foram observados efeitos significativos do ITU no próprio dia da observação (0d) nem no dia anterior (-1d). No entanto, no dia -2d, o ITU máximo apresentou associação negativa com a frequência de ordenha ($CR = -0,009$; $p = 0,029$), assim como o ITU médio ($CR = -0,008$; $p = 0,016$). No dia -3d, o ITU máximo esteve negativamente associado à frequência de ordenha ($CR = -0,015$; $p < 0,001$),

enquanto o ITU mínimo apresentou associação positiva ($CR = 0,005$; $p = 0,008$). O ITU médio no dia -3d não apresentou efeito significativo ($p = 0,375$). Esses resultados indicam que os efeitos do ambiente térmico sobre a frequência de ordenha foram mais evidentes com defasagem de dois a três dias.

No geral, nossos achados sugerem que as condições térmicas antecedentes à ordenha exerceram influência tanto sobre a produção diária de leite quanto sobre a frequência de ordenha. Os efeitos negativos observados para o ITU máximo nos dias -2d e -3d indicam que condições mais severas de estresse térmico estiveram associadas à redução dessas variáveis. Em contraste, as associações positivas observadas para o ITU mínimo sugerem que condições térmicas menos extremas, especialmente nos períodos de menor temperatura, podem favorecer o desempenho produtivo e o padrão de ordenha das vacas.

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo destacam que o ambiente térmico esteve associado tanto ao desempenho produtivo quanto à dinâmica de ordenha de vacas leiteiras criadas a pasto com acesso à ordenha voluntária. Em sistemas baseados em AMS, essa relação merece atenção especial, pois a produção de leite e a frequência de ordenha não dependem apenas do potencial produtivo dos animais, mas também da forma como eles utilizam o sistema ao longo do dia. Em propriedades com acesso ao pasto, esse processo tende a ser ainda mais sensível às condições ambientais, já que as vacas precisam se deslocar entre piquetes, cocho e unidade de ordenha em ambiente aberto. Nesse contexto, o AMS deixa de ser apenas uma ferramenta de ordenha e passa a funcionar também como um sistema de monitoramento da resposta dos animais ao ambiente, como já destacado por Salfer (2017), Jensen et al. (2004) e Lessire et al. (2020).

A análise de agrupamento reforçou essa ideia ao permitir a identificação de três perfis climáticos contrastantes, definidos como Quente-Seco, Ameno-Úmido e Frio-Úmido. A distinção desses perfis mostra que, ao longo do período avaliado, as vacas acessaram o sistema de ordenha sob condições ambientais bastante distintas. Mesmo na análise descritiva do boxplot, esse contraste já se refletiu no comportamento das variáveis de ordenha. A produção por ordenha apresentou valores centrais mais altos no perfil Quente-Seco e mais baixos no Frio-Úmido, enquanto o tempo de ordenha mostrou tendência oposta, com maiores valores no Ameno-Úmido e menores no Frio-Úmido. Ainda que essa primeira etapa tenha caráter descritivo, o conjunto dos resultados sugere

que o ambiente esteve relacionado a mudanças no padrão de uso do AMS e no desempenho das vacas ao longo do período avaliado. Esse comportamento é coerente com a literatura que discute os efeitos do ambiente térmico sobre vacas leiteiras em condições de estresse por calor. Em situações de maior desafio térmico, é esperado que os animais alterem seu padrão de atividade, reduzam o consumo, mudem o tempo de permanência em determinadas áreas do sistema e apresentem queda no desempenho. Renaudeau et al. (2012) já relataram redução da produção de leite em bovinos expostos ao calor, enquanto Tucker et al. (2021) destacam que o desconforto térmico afeta o bem-estar e modifica o comportamento dos animais. Em sistemas a pasto com acesso à ordenha voluntária, esse efeito pode ser ainda mais relevante, porque o deslocamento até o robô faz parte do próprio processo produtivo. Assim, quando o ambiente se torna menos favorável, não apenas a produção pode ser comprometida, mas também a forma como a vaca interage com o sistema.

A segunda etapa do estudo permitiu aprofundar essa interpretação ao mostrar que o Índice de Temperatura e Umidade esteve associado à produção diária de leite e à frequência de ordenha, especialmente com defasagem de dois a três dias. Os efeitos negativos do ITU máximo nos dias -2 e -3 sobre a produção diária indicam que a exposição recente a condições térmicas mais severas comprometeu o desempenho produtivo das vacas. Esse resultado está de acordo com Collier e Gebremedhin (2015), que mostram que a permanência dos animais dentro da zona de termoneutralidade é fundamental para a manutenção da produção, e com Domiciano et al. (2018), ao destacarem a importância do conforto térmico para vacas leiteiras em produção. Mais do que um efeito imediato do clima no dia da ordenha, os resultados deste estudo mostram que o acúmulo de condições térmicas desfavoráveis nos dias anteriores já foi suficiente para reduzir a produção diária de leite. Esse mesmo padrão apareceu na frequência de ordenha. Embora não tenham sido observados efeitos significativos do ITU no próprio dia da observação nem no dia anterior, os efeitos negativos do ITU máximo e do ITU médio nos dias -2 e -3 mostram que a exposição ao calor interferiu na regularidade com que as vacas acessaram o AMS. Esse resultado é importante porque, em sistemas de ordenha voluntária, a frequência de ordenha é uma variável central para o funcionamento do sistema. Quando essa frequência diminui, não se altera apenas o comportamento do animal, mas todo o ritmo de uso do robô. Estes resultados reforçam o efeito do ambiente térmico no comportamento de ordenha de vacas leiteiras, uma vez que o fluxo de tráfego ao AMS é um indicador importante da funcionalidade do sistema em propriedades com

acesso ao pasto (Lessire et al. 2020). Além disso, utilizando média móvel (incluindo fatores ambientais em dias que antecedem o dia da coleta) é uma maneira de melhor compreender os efeitos do clima na resposta animal. Hill e Wall (2017) identificaram que médias móveis para dados climáticos registrados nos 3 e 7 dias anteriores a coleta de dados afetam as características alimentares de vacas leiteiras; agora, nosso estudo contribui para o avanço da termodinâmica de vacas leiteiras ao evidenciar que condições ambientais que antecedem o dia da coleta de dados também pode influenciar a produção de leite e o comportamento de ordenha de vacas a pasto com acesso a ordenha automatizada.

Outro ponto relevante foi a associação positiva observada entre o ITU mínimo e parte das variáveis avaliadas. Para a produção diária de leite, os valores de ITU mínimo apresentaram efeito positivo no dia 0 e nos dias -2 e -3. Para a frequência de ordenha, esse efeito foi observado no dia -3. Esse padrão sugere que condições térmicas menos severas, especialmente nos períodos de menor temperatura, podem favorecer a recuperação dos animais e contribuir para a manutenção tanto da produção quanto da frequência de uso do AMS. Em sistemas a pasto, isso tem implicação prática direta, porque as vacas permanecem mais expostas às condições ambientais e dependem em maior grau de recursos naturais ou de manejo para aliviar a carga térmica. Nesse sentido, a discussão proposta por Deniz et al. (2019) sobre a importância da sombra em sistemas de pastejo e por Giannone et al. (2023) sobre medidas de abatimento de calor se encaixa diretamente nos resultados observados aqui.

É importante destacar o fato de o estudo ter sido conduzido com vacas Girolando, grupo genético amplamente utilizado em regiões tropicais por apresentar melhor adaptação ao calor em comparação as raças taurinas especializadas (Santana et al., 2015). Ainda assim, mesmo em um rebanho com essa característica, o ambiente térmico continuou afetando tanto a produção quanto a frequência de ordenha. Isso mostra que a adaptação racial contribui para a resiliência do sistema, mas não elimina os efeitos do clima sobre o desempenho dos animais. Essa interpretação está de acordo com Osei-Amponsah et al. (2019), que destacam a importância da adaptabilidade e da termotolerância em rebanhos leiteiros mantidos em ambientes quentes.

Nossos resultados reforçam o valor dos dados do AMS como ferramenta de diagnóstico em sistemas leiteiros a pasto. Variáveis como produção de leite, frequência de ordenha, tempo de ordenha, tempo no box e eventos de ordenha podem ser utilizadas como indicadores sensíveis da resposta do rebanho às condições ambientais. Em um

cenário de aumento da temperatura média do planeta e de maior frequência de eventos climáticos extremos, como apontado pelo IPCC (2021), esse tipo de monitoramento preciso e contínuo ganha ainda mais importância. Em sistemas baseados em pastagem, a adoção de estratégias de manejo voltadas ao conforto térmico, como oferta de sombra e melhor organização do acesso aos piquetes e ao robô de ordenha, tende a ser fundamental para sustentar a produtividade e a eficiência do sistema em um cenário de mudanças climáticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciaram que o ambiente térmico esteve associado a alterações consistentes na produção diária de leite e na frequência de ordenha de vacas leiteiras criadas a pasto com acesso à ordenha automatizada. A análise dos perfis climáticos indicou que diferentes condições ambientais estiveram relacionadas a mudanças no comportamento das variáveis de ordenha, enquanto a análise baseada em ITU demonstrou que a exposição a maior carga térmica, sobretudo nos dois a três dias anteriores, esteve associada à redução da produção e da frequência de ordenha. Em conjunto, nossos achados reforçam que o estresse por calor continua sendo um fator importante em sistemas leiteiros a pasto com AMS, mesmo para animais cruzados.

O uso integrado de dados de ordenha automatizada e informações meteorológicas mostrou-se uma ferramenta robusta para o desenvolvimento de diagnósticos de precisão em sistemas leiteiros a pasto. Essa abordagem permite não apenas compreender os efeitos do ambiente térmico sobre os animais, mas também antecipar respostas produtivas e comportamentais, contribuindo para a tomada de decisão baseada em dados.

Do ponto de vista aplicado, nossos achados reforçam a necessidade de adoção de estratégias de mitigação do estresse térmico, como o fornecimento de sombra, manejo adequado das áreas de pastejo e ajustes no fluxo de acesso à ordenha, especialmente em períodos de estresse por calor. Além disso, evidenciam o potencial dos sistemas automatizados como aliados na gestão do conforto térmico e na otimização da eficiência produtiva. Por fim, o estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a interação entre ambiente, comportamento e produção em sistemas leiteiros com ordenha automatizada, oferecendo subsídios técnicos e científicos para o aprimoramento de sistemas de produção mais sustentáveis, eficientes e alinhados às condições tropicais.

7. ORIENTAÇÕES

Durante o período de realização do meu pós-doutorado, não conduzi orientações formais diretas de alunos em nível de graduação ou pós-graduação. No entanto, atuei de forma ativa e contínua no apoio às atividades de orientação vinculadas ao grupo de pesquisa. Participei da supervisão direta e indireta de trabalhos de conclusão de curso, projetos de iniciação científica e do acompanhamento das atividades de pesquisa desenvolvidas no âmbito dos projetos em andamento e do grupo de pesquisa GEBOL, sob coordenação do Prof. Dr. Matheus. Minha atuação envolveu o acompanhamento contínuo dos discentes, correção e revisão de trabalhos acadêmicos, supervisão de protocolos experimentais e o suporte na condução das atividades de campo. Além disso, contribuí na estruturação de projetos de pesquisa submetidos a agências de fomento, bem como em iniciativas desenvolvidas em parceria com o setor privado. Essa experiência evidencia meu envolvimento na formação de recursos humanos e no fortalecimento das atividades de pesquisa do grupo.

8. DISCIPLINAS MINISTRADAS COM A RESPECTIVA CARGA HORÁRIA E/OU A REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE EXTENSÃO.

Durante o período, não ministrei disciplinas formais. No entanto, desenvolvi e participei ativamente de diversas atividades de extensão e de formação acadêmica vinculadas ao Grupo de Estudos em Bovinos Leiteiros (GEBOL). Participei de reuniões semanais e/ou quinzenais do grupo, contribuindo para discussões técnico-científicas, troca de conhecimentos e acompanhamento das atividades desenvolvidas pelos discentes. Atuei também na comissão administrativa do GEBOL, colaborando na elaboração do estatuto social do grupo e na organização e gestão de seus membros. Além disso, integrei a comissão de marketing, participando do planejamento estratégico e da elaboração de conteúdos para divulgação científica por meio das redes sociais, com ênfase no perfil do grupo no Instagram, ampliando o alcance das ações de extensão. Contribuí ainda na elaboração do edital e na avaliação do processo seletivo de novos integrantes do GEBOL, referente ao segundo semestre de 2025, auxiliando na seleção e integração de alunos ao grupo. Por fim, atuei na comissão organizadora do curso de consultoria para fazendas leiteiras, realizado em setembro de 2025, colaborando no planejamento, estruturação e execução da atividade, voltada à capacitação técnica e à aproximação entre universidade e setor produtivo.

9. REFERÊNCIAS

Bernabucci, U.; Calamari, L. Effects of heat stress on bovine milk yield and composition. **Zootecnica e Nutrizione Animale**, v.24, n. 6, p 247-257, 1998.

Bolfe, É. L.; Victoria, D. D. C.; Sano, E. E.; Bayma, G.; Massruhá, S. M. F. S.; De Oliveira, A. F. Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases. **Land**, v. 13, n. 2, p. 200, 2024.

Cardoso, C. S.; Hötzel, M. J.; Weary, D. M.; Robbins, J. A.; Von Keyserlingk, M. A. G. Imagining the ideal dairy farm. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 2, p. 1663–1671, 2016.

Carlström, C.; Pettersson, G.; Johansson, K.; et al. Feasibility of using automatic milking system data from commercial herds for genetic analysis of milkability. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 8, p. 5324–5332, 2013.

Carlström, C.; Strandberg, E.; Pettersson, G.; et al. Genetic associations of teat cup attachment failures, incomplete milkings, and handling time in automatic milking systems with milkability, temperament, and udder conformation. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, v. 66, n. 2, p. 75–83, 2016.

Carrara, E. R., Petrini, J., Salvian, M., de Oliveira, H. R., Rovadoscki, G. A., Iung, L. H. D. S., Mourão, G. B. Genetic parameters for milk yield and quality traits of Brazilian Holstein cows as a function of temperature and humidity index. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 138, n. 6, p. 643-654, 2021.

Castro, A.; Pereira, J. M.; Amiama, C.; Bueno, J. Estimating efficiency in automatic milking systems. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 2, p. 929–936, 2012.

Collier, R. J.; Gebremedhin, K. G. Thermal Biology of Domestic Animals. Annual Review of **Animal Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 513–532, 2015.

Dauria, B. D. et al. Genetic effects of heat stress on milk fatty acids in Brazilian Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 4, p. 3296-3305, 2022.

Deniz, M.; Schmitt Filho, A. L.; Farley, J.; de Quadros, S. F.; Hötzel, M. J. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, n. 1, p. 83–92, 2019.

Dillon, P.; Roche, J. R.; Shalloo, L.; Horan, B. Optimising financial return from grazing in temperate pastures. **Utilisation of grazed grass in temperate animal systems**. p.131–147, 2005. Brill | Wageningen Academic.

Domiciano, L. F.; Mombach, M. A.; Carvalho, P.; et al. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920, 2018.

Giannone, Claudia et al. Review of the Heat Stress-Induced Responses in Dairy Cattle. **Animals**, v. 13, n. 22, p. 3451, 2023.

Heringstad, B.; Kjøren Bugten, H. Genetic evaluations based on data from automatic milking systems. In: **Conference ICAR**, Berlin, 2014, DOI: 10.13140/2.1.4961.7280. 2014.

Hill, D. L.; Wall, E. Weather influences feed intake and feed efficiency in a temperate climate. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 3, p. 2240-2257, 2017.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the **Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021. ISSN 0373-6245. v. 92

Jensen, T. Expectations of automatic milking and the realized socio-economic effects. **Automatic milking, a better understanding**. p.78–79, 2004. Brill | Wageningen Academic.

Lessire, F.; Moula, N.; Hornick, J.-L.; Dufrasne, I. Systematic Review and Meta-Analysis: Identification of Factors Influencing Milking Frequency of Cows in Automatic Milking Systems Combined with Grazing. **Animals**, v. 10, n. 5, p. 913, 2020.

Løvendahl, P.; Chagunda, M. G. G. Covariance among milking frequency, milk yield, and milk composition from automatically milked cows. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 11, p. 5381–5392, 2011.

Monteiro, A. R.; Veras, A. T. de R. The housing issue in brazil. **Mercator**, v. 16, n. 7, p. 1–12, 2017.

Osei-Amponsah, R.; Chauhan, S. S.; Leury, B. J.; et al. Genetic Selection for Thermotolerance in Ruminants. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 948, 2019.

Salfer, J. A.; Minegishi, K.; Lazarus, W.; Berning, E.; Endres, M. I. Finances and returns for robotic dairies. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 9, p. 7739–7749, 2017.

Santana, M. L., Pereira, R. J., Bignardi, A. B., Vercesi Filho, A. E., Menéndez-Buxadera, A., & El Faro, L. Detrimental effect of selection for milk yield on genetic tolerance to heat stress in purebred Zebu cattle: Genetic parameters and trends. **Journal of Dairy Science**, 98(12), 9035-9043, 2015.

Sartori, E. K.; Hötzel, M. J.; De-Sousa, K. T.; Alves, T. C.; Deniz, M. Agrivoltaic systems in a tropical region: Influence on thermal environment, vaginal temperature and behavior of dairy heifers, **JDS Communications**, 2026.

Spahr, S. L.; Maltz, E. Herd management for robot milking. Computers and Electronics in **Agriculture**, v. 17, n. 1, p. 53–62, 1997.

Thom, E. C. The Discomfort Index **Weatherwise** 12: 57-61. 1959.

Tresoldi, G.; Schütz, K. E.; Tucker, C. B. Cooling cows with sprinklers: Spray duration affects physiological responses to heat load. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4412–4423, 2018.

Tucker, C. B.; Jensen, M. B.; de Passillé, A. M.; Hänninen, L.; Rushen, J. Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 1, p. 20–46, 2021.

Van Dooren, H. J. C.; Heutinck, L. F. M.; Biewenga, G.; Zonderland, J. L. The influence of three grazing systems on AMS performance. **Automatic milking, a better understanding**, p.292–297, 2004. Brill | Wageningen Academic.

Vieira, F. M. C.; Soares, A. A.; Herbut, P.; et al. Spatio-Thermal Variability and Behaviour as Bio-Thermal Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a Compost Barn: A Case Study. **Animals**, v. 11, n. 5, p. 1197, 2021.

Wethal, K. B.; Heringstad, B. Genetic analyses of novel temperament and milkability traits in Norwegian Red cattle based on data from automatic milking systems. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 9, p. 8221–8233, 2019.

Wiking, L.; Nielsen, J. H.; Båvius, A. K.; Edvardsson, A.; Svennersten-Sjaunja, K. Impact of milking frequencies on the level of free fatty acids in milk, fat globule size, and fatty acid composition. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 3, p. 1004-1009, 2006.