



Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
ANIMAL
CURSO DE MESTRADO

**EFICIÊNCIA HÍDRICA DE BOVINOS NELORE A PASTO NA
FASE DE RECRIA: INTERAÇÃO ENTRE
COMPORTAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA, MICROCLIMA
E COMPOSIÇÃO DE CARÇAÇA**

Laura Machado Berwerth

CAMPO GRANDE, MS
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL CURSO
DE MESTRADO

**EFICIÊNCIA HÍDRICA DE BOVINOS NELORE A PASTO NA
FASE DE RECRIA: INTERAÇÃO ENTRE
COMPORTAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA, MICROCLIMA
E COMPOSIÇÃO DE CARÇAÇA**

Laura Machado Berwerth

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marina de Nadai Bonin Gomes

Co-Orientadores: Prof. Dr. Rodrigo da Costa Gomes

Prof^a. Dr^a. Viviane Maria Oliveira dos Santos

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Mato Grosso do Sul, como
requisito à obtenção do título de Mestre
em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS
2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

LAURA MACHADO BERWERTH

EFICIÊNCIA HÍDRICA DE BOVINOS NELORE A PASTO NA FASE DE RECRIA: INTERAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA, MICROCLIMA E COMPOSIÇÃO DE CARCAÇA
WATER EFFICIENCY OF NELLORE CATTLE GRAZING IN THE REARING PHASE: INTERACTION AMONG WATER CONSUMPTION BEHAVIOR, MICROCLIMATE AND CARCASS COMPOSITION

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 26-06-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Viviane Maria Oliveira dos Santos
(UFMS) – Presidente

Dr. Nivaldo Karvatte Junior
(UFRN)

Dr. Luis Carlos Vinhas Itavo
(UFMS)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Nivaldo Karvatte Junior, Usuário Externo**, em 30/06/2025, às 08:42, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Carlos Vinhas Itavo, Professor do Magisterio Superior**, em 30/06/2025, às 14:16, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Viviane Maria Oliveira dos Santos Nieto, Professora do Magistério Superior**, em 30/06/2025, às 16:21, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5711503** e o código CRC **48A6BF02**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001236/2021-33

SEI nº 5711503

BERWERTH, L.M.	EFICIÊNCIA HÍDRICA DE BOVINOS NELORE A PASTO NA FASE DE RECRIA: INTERAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA, MICROCLIMA E COMPOSIÇÃO DE CARCAÇA	2025
-----------------------	---	-------------

Dedicatória

Este trabalho é dedicado à minha família, especialmente à minha filha Marina.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força e saúde para enfrentar os desafios ao longo desta trajetória.

Aos meus pais, Eda Maria Monteiro da Silva Machado Berwerth e Moacyr Berwerth Junior, pelo amor incondicional e por serem exemplo de força e dedicação. Aos meus irmãos, Júlia Machado Berwerth Saba, Marcelo Machado Berwerth e Renato Machado Berwerth, pelo incentivo e apoio constante. À minha filha Marina Berwerth Pedrazzi e ao meu esposo Augusto de Queiroz Pedrazzi, agradeço com todo o meu coração pela paciência, amor e suporte em todos os momentos desta caminhada. Foram eles que sustentaram os desafios diários e me permitiram seguir até a conclusão deste trabalho.

Aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Marina de Nadai Bonin Gomes, Prof^a. Dr^a. Viviane Maria Oliveira dos Santos e Prof. Dr. Rodrigo da Costa Gomes, minha eterna gratidão pela orientação, disponibilidade, paciência, apoio constante e incentivo para a realização deste trabalho.

À Embrapa Gado de Corte, instituição onde este estudo foi desenvolvido, agradeço pelo acolhimento, pela infraestrutura disponibilizada e pelo suporte técnico e científico.

Agradeço também ao Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes, pela oportunidade de integrar este projeto, cuja vivência proporcionou experiências enriquecedoras.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), e aos professores e colegas do programa, pela excelência no ensino e pelas contribuições ao meu crescimento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradeço pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas e amigos do laboratório e da Embrapa Gado de Corte- Lucy Mery, Samara, Jaqueline, Camila, Bruno, Lauany, Carol, Gabrielle, Anny, Aline e Wallyson - minha gratidão pela amizade e cooperação ao longo desta jornada. Estendo meus agradecimentos aos colaboradores da Embrapa, especialmente à equipe do setor de produção animal - Adão, Henrique, Sebastião, Luis, Samuel e Ênio, e ao Odivaldo do setor de campos experimentais e toda sua equipe, pelo apoio técnico.

*“Não desista, vá em frente. Sempre há uma chance de tropeçar em algo maravilhoso.”
Charles F. Kettering*

Resumo

BERWERTH, L. M. Eficiência hídrica de bovinos Nelore a pasto na fase de recria: interação entre comportamento de consumo de água, microclima e composição de carcaça. 2025. Dissertação - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

A crescente escassez hídrica em escala global impõe limitações significativas aos sistemas agropecuários. Nesse cenário, a pecuária de corte exige maior eficiência no uso da água como condição indispensável para garantir a sustentabilidade produtiva e atender à demanda crescente por alimentos. O estudo foi realizado com o objetivo de estimar o consumo hídrico residual de bovinos da raça Nelore criados a pasto, associados às variáveis microclimáticas, comportamentais e características de carcaça avaliadas por ultrassonografia. Foram utilizados 77 machos Nelore, com peso vivo médio inicial de $309,4 \pm 32,13$ kg e idade média inicial de $12,27 \pm 1,13$ meses em dois ciclos experimentais (2023–2025), mantidos em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, com monitoramento eletrônico do consumo hídrico e do comportamento de uso de bebedouros. As avaliações corporais foram realizadas por ultrassonografia no início e ao final do experimento. Os valores médios de consumo hídrico (21,75 L/dia), CHR (0 L/dia) e eficiência hídrica (22,92 L/kg GMD) situaram-se dentro do intervalo relatado na literatura para bovinos em condições tropicais. Observou-se correlação significativa ($P < 0,05$) entre o consumo hídrico e variáveis climáticas, especialmente temperatura ($r = 0,66$) e radiação solar ($r = 0,65$). Não houve diferença ($P > 0,05$) entre as classes de CHR para as variáveis de carcaça. A seleção de animais de maior eficiência hídrica não afeta negativamente as características de carcaça. Menor consumo hídrico está relacionado a menor tempo de uso dos bebedouros, assim como a menor temperatura e radiação. Os resultados indicam que o CHR pode ser uma ferramenta promissora na identificação de animais mais eficientes no uso da água.

Palavras-chave: Comportamento ingestivo; Consumo hídrico residual; Eficiência no uso da água; Microclima; Ultrassonografia de carcaça.

Abstract

BERWERTH, L. M. Water efficiency of pasture-raised Nelore cattle during the backgrounding phase: interaction between water intake behavior, microclimate, and carcass composition. 2025. Dissertação - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

The increasing global water scarcity imposes significant limitations on agricultural systems. In this context, beef cattle production requires greater water use efficiency as an essential condition to ensure productive sustainability and meet growing demand for food. This study aimed to estimate the residual water intake (RWI) of pasture-raised Nelore cattle and its association with microclimatic, behavioral, and carcass traits evaluated by ultrasound. A total of 77 Nelore males were used, with an initial average body weight of 309.4 ± 32.13 kg and an average initial age of 12.27 ± 1.13 months, evaluated across two experimental cycles (2023–2025). The animals were kept on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pasture, with electronic monitoring of water intake and drinking behavior. Ultrasound assessments were conducted at the beginning and end of the trial. Mean values for water intake (21.75 L/day), RWI (0 L/day), and water efficiency (22.92 L/kg ADG) were within the range reported in the literature for cattle under tropical conditions. A significant correlation ($P < 0.05$) was observed between water intake and climatic variables, particularly temperature ($r = 0.66$) and solar radiation ($r = 0.65$), as well as between water intake and higher subcutaneous fat thickness ($r = 0.35$) at the start of the experimental period. No significant differences ($P > 0.05$) were found among RWI classes for carcass traits. The selection of animals with greater water efficiency may not negatively affect carcass characteristics. Lower water consumption is related to shorter use of drinking fountains, as well as lower temperature and radiation. The results suggest that RWI is a promising tool for identifying more water efficient animals.

Keywords: Beef cattle; carcass traits; ingestive behavior; microclimate; residual water intake; water efficiency.

Lista de tabelas

Tabela 1. Estatística descritiva de medidas de consumo hídrico, comportamento de uso do bebedouro, variáveis climáticas e características de carcaça por ultrassom.41

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre medidas de consumo hídrico em litros por dia (CH, L/dia), em porcentagem do peso vivo médio (%CH, %), eficiência hídrica (EH, L/kg GMD) e consumo hídrico residual (CHR, L/dia) e as variáveis de comportamento de uso de bebedouro: tempo de uso do bebedouro (TUB, s/dia), tempo de uso do bebedouro com consumo (TUBC, s/dia), número de visitas (VIS), número de visitas com consumo (VISC, n), TVIS (s/visita) e TVISC (s/visita) (n = 77).42

Tabela 3. Comportamento de uso do bebedouro em função da classe de consumo hídrico residual (CHR).43

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson de medidas de consumo hídrico e de comportamento de uso do bebedouro com variáveis climáticas (n = 240).44

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson entre as medidas de consumo hídrico (CH, L/dia), %CH (consumo hídrico em porcentagem do peso vivo médio) e consumo hídrico residual (CHR, L/dia) e eficiência hídrica (EH, L/kg GMD) e as medidas iniciais, finais e de ganho de área de olho de lombo (AOL, cm²), espessura de gordura subcutânea (EGS, mm) e espessura de gordura na picanha (EGP, mm), por ultrassonografia (n = 76).45

Tabela 6. Medidas iniciais, finais e ganho de características de carcaça por ultrassonografia em função da classe de consumo hídrico residual (CHR).45

Lista de abreviaturas e siglas

ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne
AOL	Área de olho de lombo
CEUA	Comitê de ética para uso de animais
CH	Consumo hídrico
CHD	Consumo hídrico médio diário
CHR	Consumo hídrico residual
cm ²	Centímetros quadrados
CMDÁgua	Consumo de médio diário de água
CMS	Consumo de matéria seca
CTR	Carga térmica radiante
EGP	Espessura de gordura na picanha
EGS	Espessura de gordura subcutânea
EH	Eficiência hídrica
gaol	Ganho de área de olho de lombo
gegs	Ganho de espessura de gordura subcutânea
gegp	Ganho de espessura de gordura na picanha
GMD	Ganho médio diário
GPRS	Serviço geral de pacote por dados
ITGU	Índice de temperatura de globo e umidade
ITU	Índice de temperatura e umidade
mm	Milímetros
PVC	Policloreto de vinila
PVM	Peso vivo metabólico
RFID	Identificação por rádio frequência
s	Segundos
TA	Temperatura do ar
Tgn	Temperatura de globo negro
Tpo	Temperatura do ponto de orvalho
TUB	Tempo de uso do bebedouro
TUBC	Tempo de uso do bebedouro com consumo
TVIS	Tempo por visita
TVISC	Tempo por visita com consumo
UR	Umidade relativa
VIS	Número de visitas
VISC	Número de visitas com consumo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Fatores que influenciam o consumo de água por bovinos	14
2.2 Variáveis do microclima e influência na produção de bovinos	15
2.3 Comportamento de bovinos.....	18
2.4 Crescimento e composição de carcaça de bovinos.....	21
2.5 Eficiência hídrica de bovinos	25
3 REFERÊNCIAS	27
ARTIGO 1.....	31
Resumo	33
Abstract	33
1 Introdução	34
2 Material e métodos	35
2.1 Local e período experimental	35
2.2 Animais e manejo experimental.....	36
2.3 Desempenho ponderal e consumo hídrico.....	37
2.4 Comportamento de ingestão de água	37
2.5 Composição <i>in vivo</i> da carcaça.....	38
2.6 Microclima e conforto térmico.....	38
2.7 Análise Estatística.....	39
3 Resultados	40
4 Discussão	46
5 Conclusão	48
6 Referências	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O Brasil consolidou-se, na última década, como um dos principais produtores e exportadores globais (Pereira et al. 2025). Em 2023, ocupou a segunda posição na produção mundial e liderou as exportações, com 10,6 milhões de toneladas produzidas e 2,29 milhões exportadas (ABIEC, 2024). Esse desempenho reflete a expressiva capacidade produtiva do setor, impulsionada pela disponibilidade de recursos naturais, como disponibilidade de solo, pastagens e água, que conferem vantagem competitiva à pecuária nacional (Palhares et al., 2021).

A bovinocultura de corte, além de contribuir significativamente para a geração de emprego e renda, é estratégica para a economia brasileira. No entanto, seu desenvolvimento está atrelado ao uso intensivo de recursos hídricos.

A quantificação do consumo hídrico ao longo da cadeia produtiva, por meio de indicadores como a pegada hídrica, tem revelado lacunas relevantes no conhecimento sobre os pontos críticos de utilização da água nos sistemas de produção de carne (Palhares et al., 2021). Estudos apontam que a produção de carne bovina apresenta uma pegada hídrica consideravelmente superior à de outras fontes de proteína animal (Mekonnen; Hoekstra, 2012). Essa medida engloba o volume total de água utilizado ao longo do processo produtivo, incluindo a água verde, proveniente das chuvas e utilizada pelas plantas destinadas à alimentação animal, a água azul, oriunda de corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, consumida diretamente pelos animais e a água cinza, que corresponde ao volume necessário para diluir os poluentes gerados durante a produção até níveis ambientalmente seguros (Hoekstra et al., 2011; Palhares, 2016).

A crescente demanda por práticas sustentáveis na produção animal impõe o desafio da racionalização do uso da água, especialmente em um cenário de escassez hídrica e mudanças climáticas. Frente a esse contexto, torna-se essencial o aprimoramento das estratégias de manejo e seleção animal visando maior eficiência no uso da água.

Estudos demonstram que há variabilidade individual quanto à eficiência hídrica e que essa característica pode ser explorada em programas de

melhoramento genético (Pereira et al., 2021; Souza et al., 2024). Neste sentido, o consumo hídrico residual tem sido adotado como parâmetro para avaliação dessa eficiência, ao considerar o desvio entre o consumo real e o consumo esperado com base no peso metabólico e no desempenho produtivo dos animais (Pires et al., 2022). Essa métrica permite identificar indivíduos que utilizam menos água para produzir o mesmo resultado zootécnico, sendo fundamental para avançar em modelos de produção mais sustentáveis.

No Brasil, onde grande parte do rebanho ainda é mantido em sistemas extensivos de pastagem, os efeitos das variáveis ambientais sobre o consumo de água e o desempenho dos animais são ainda mais relevantes. Condições como temperatura ambiente, umidade relativa, radiação solar e carga térmica radiante afetam diretamente a termorregulação dos bovinos e, por consequência, a ingestão hídrica (Wagner e Engle, 2021), impactando a produtividade e o bem-estar dos animais.

Dessa forma, a investigação da relação entre o consumo hídrico residual, o comportamento de uso do bebedouro, as características microclimáticas e os parâmetros de carcaça de bovinos Nelore criados a pasto se apresenta como uma abordagem relevante. Tal análise permite identificar animais mais adaptados ao ambiente tropical e mais eficientes na utilização dos recursos disponíveis, contribuindo para o avanço da pecuária sustentável no Brasil.

O estudo foi realizado com objetivo de avaliar a relação entre o comportamento de uso do bebedouro, variáveis climáticas, características de carcaça estimadas por ultrassonografia e a eficiência hídrica de bovinos da raça Nelore mantidos em sistema de pastejo, com base na estimativa do consumo hídrico residual.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fatores que influenciam o consumo de água por bovinos

A água é essencial para o organismo dos animais pois atua na regulação da temperatura corporal e no crescimento, uma vez que está envolvida no metabolismo dos nutrientes consumidos, na regulação da homeostase, transporte de energia, vitaminas e minerais no corpo dos animais (NRC, 2000).

O consumo de água pelos bovinos é um fator essencial para o desempenho produtivo (Zanetti et al., 2019), sendo que sua ingestão diária pode variar dependendo da fase de produção. A ingestão elevada de água está positivamente correlacionada com maiores ganhos médios diários e melhor eficiência alimentar, uma vez que ingestão insuficiente de água compromete o consumo alimentar e pode limitar o crescimento dos animais (Ahlberg et al., 2019).

O consumo de água pelos bovinos é influenciado por uma interação de fatores fisiológicos e ambientais, como peso corporal, estágio produtivo, raça, estresse térmico, entre outros (Fenshaw & Fairfax, 2008; Kume et al., 2010; Brew et al., 2011; Sexson et al., 2012), além da qualidade e disponibilidade da água (Hersom & Crawford, 2008; Williams et al., 2017).

Animais de maior porte ou em lactação consomem volumes maiores de água (Golher et al., 2021; Schütz et al., 2019; Wagner e Engle, 2021). Em estudo para avaliar o consumo de água em função do peso corporal de novilhos confinados, Sexson et al. (2012) verificaram que o consumo de água aumentava de 22 litros, aos 300 kg, para aproximadamente, 38 litros de água por animal por dia, quando o animal atingia 500 kg. Entretanto, na faixa de peso acima de 500 kg, houve decréscimo no consumo de água. Segundo os autores, esse comportamento ingestivo de água é justificado pelo fato de que em animais com peso corporal acima de 500 kg a deposição de gordura aumenta exponencialmente, diminuindo a deposição de tecido muscular, composto em cerca de 75% por água, o que demandaria maior consumo de água pelos animais comparado a deposição de tecido adiposo, que possui apenas cerca de 10% de água em sua composição (Warriss, 2000).

A composição da dieta é um dos principais fatores que afetam o consumo hídrico, pois o teor de matéria seca da alimentação influencia diretamente a quantidade de água ingerida pelos animais (Zanetti et al., 2019). Segundo Murphy, Davis e Mccoy, (1983), dietas mais secas exigem uma maior ingestão de água para manter o equilíbrio hídrico.

Segundo Zanetti et al. (2019) raças distintas apresentam diferenças no consumo de água. Em estudo com bovinos de diferentes raças e cruzamentos, Brew et al. (2011) observaram que raças adaptadas aos trópicos consumiram menos água que raças continentais e britânicas. Os menores consumos foram observados em animais Brahman (*Bos indicus*) e Romosinuano (*Bos taurus*) e os maiores valores de consumo de água foram em animais provenientes do cruzamento das raças Charolês x Angus.

Os fatores ambientais são igualmente determinantes na regulação do consumo hídrico (Wagner e Engle, 2021). A temperatura ambiente e a umidade relativa afetam diretamente a demanda de água, uma vez que a evaporação e a perda de calor corporal exigem um aumento no consumo para garantir a termorregulação.

As variações sazonais influenciam tanto a disponibilidade quanto os padrões de ingestão de água, sendo que os meses mais quentes geralmente resultam em um aumento na frequência e no volume de consumo hídrico (Golher et al., 2021). Ahlberg et al. (2018) observaram que durante o verão os bovinos consumiram 10,03% do peso corporal em água, enquanto no inverno o consumo era de 6,90%.

A disponibilidade de água influencia diretamente o consumo alimentar e o desempenho produtivo de bovinos de corte. Em uma revisão sistemática, Williams et al. (2017) analisaram diversos experimentos e observaram que bovinos com acesso à água, apenas a cada dois ou três dias, apresentaram reduções de 15% a 25% na ingestão de água e de 16% a 9% na ingestão de alimento, em comparação com animais que tinham acesso diário à água. Esses resultados evidenciam a importância da disponibilidade contínua de água para maximizar a ingestão alimentar e o crescimento dos bovinos de corte.

Dentro deste contexto, a influência das mudanças climáticas sobre a oferta de água pode levar o setor pecuário a priorizar a produção de alimentos de origem animal que demandem menor consumo hídrico (Nardone et al., 2010). O esforço conjunto de todos os elos da cadeia é fundamental para manter o equilíbrio da produtividade animal com o uso sustentável da água e minimizar os riscos da escassez hídrica (Palhares et al., 2017) tornando essencial a identificação e seleção de animais mais eficientes, capazes de converter em produtos de forma otimizada (Ahlberg et al., 2019).

2.2 Variáveis do microclima e influência na produção de bovinos

As variáveis microclimáticas exercem influência direta sobre a saúde, o desempenho produtivo e o bem-estar dos animais (Lacetera, 2019). Dessa forma,

compreender a interação entre animal e ambiente possibilita o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes para maximizar a produtividade (Nóbrega et al., 2011) e reduzir impactos negativos do microclima sobre os animais.

Fatores climáticos como temperatura, umidade e radiação solar afetam significativamente as respostas fisiológicas dos bovinos, determinantes para eficiência alimentar, produtividade e ocorrência de estresse térmico, interferindo na regulação da ingestão de água para manter a termorregulação e o equilíbrio fisiológico geral (Santoso et.al., 2023; Malan et.al.,2020; Wagner e Engle, 2021).

A temperatura ambiente influencia diretamente o metabolismo e o consumo de alimento pelos bovinos, tornando essencial o estabelecimento de faixas térmicas ideais para preservar a produtividade. A umidade relativa, por sua vez, pode intensificar os efeitos do estresse térmico, comprometendo o conforto e o desempenho dos animais (Santoso et al., 2023).

Song et al. (2023) investigaram a relação entre microclima e comportamento de vacas leiteiras, observando que condições de baixa temperatura e alta umidade impactam negativamente o índice de produção de leite e o tempo de ruminação, além de aumentar a atividade física das vacas. Esses resultados indicam que ambientes com microclimas desfavoráveis podem comprometer o bem-estar e a produtividade dos animais. Além disso, parâmetros fisiológicos como frequência respiratória e cardíaca demonstram melhorias expressivas em sistemas com controle ambiental adequado, resultando em um melhor estado geral de saúde dos animais (Santoso et al., 2023).

Em regiões tropicais, a exposição contínua à radiação solar intensa e a temperaturas elevadas impõe alta demanda por mecanismos de termorregulação, como a sudorese, a hiperventilação e o aumento da ingestão de água, o que pode comprometer o desempenho zootécnico. Diante desse cenário, Maia et al. (2023) avaliaram um modelo de sombreamento para bovinos confinados, considerando variáveis como radiação solar, temperatura do ar, temperatura de globo negro, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação.

Os autores observaram que animais em currais com sombreamento apresentaram temperatura corporal superficial até 5 °C inferior, frequência respiratória 10 movimentos/minuto menor e consumo de água reduzido em média em 3,4 L/dia durante dias muito quentes (radiação solar >800 W/m²). Embora o consumo de matéria seca fosse semelhante entre os grupos, os animais com acesso à sombra apresentaram maior ganho médio diário e melhor conversão alimentar, resultando em um acréscimo médio de 8 kg no peso de carcaça quente. Esses benefícios foram ainda mais evidentes

em animais de pelagem escura, mais suscetíveis à radiação solar direta.

No Brasil, predomina a criação de gado de corte em pastagens, portanto expostas diretamente às variações ambientais. Animais expostos a microclimas ideais tendem a consumir menores volumes de água devido à redução do estresse térmico, enquanto que aqueles submetidos a condições ambientais extremas podem dobrar a ingestão hídrica em comparação com condições normais (Santoso et al., 2023).

Uma métrica amplamente utilizada para avaliar as características ambientais são os índices bioclimáticos, entre eles está o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), desenvolvido por Buffington et al. (1981), amplamente utilizado para avaliar o conforto térmico de bovinos, especialmente em condições de exposição direta ou indireta à radiação solar. Este índice incorpora a temperatura do globo negro e a temperatura do ponto de orvalho, oferecendo uma medida mais abrangente do ambiente térmico em comparação com índices que consideram apenas temperatura e umidade.

A literatura apresenta que, para bovinos, valores de ITGU inferiores a 74 indicam condições de conforto térmico para os animais. Faixas entre 74 e 78 sugerem estado de alerta para estresse térmico leve, enquanto valores entre 79 e 84 apontam para estresse térmico moderado. Valores superiores a 84 são indicativos de estresse térmico severo, podendo comprometer significativamente o bem-estar e produtividade dos bovinos (Buffington et al., 1981).

Estudos demonstram que o ITGU é um indicador mais preciso do conforto térmico em comparação com o ITU, especialmente quando os animais estão expostos à radiação solar. Isso ocorre porque o ITGU considera a temperatura do globo negro, que reflete a carga térmica radiante, fornecendo uma avaliação mais completa das condições ambientais que afetam os bovinos (Buffington et al., 1981).

Nesse sentido, a compreensão da Carga Térmica Radiante (CTR), torna-se essencial, pois representa uma das principais fontes de estresse térmico em ambientes tropicais, sendo uma variável crítica no contexto da termorregulação de bovinos, principalmente em regiões tropicais e intertropicais (Santos et al., 2022). A radiação térmica proveniente do sol e de superfícies aquecidas do ambiente interage com o corpo dos animais, aumentando significativamente a carga de calor absorvida, o que dificulta a manutenção do equilíbrio térmico. Em ambientes tropicais, a radiação solar direta pode representar até três vezes o calor produzido pelo metabolismo basal dos bovinos.

Segundo Santos et al. (2022), vacas leiteiras sob exposição direta ao calor podem absorver cerca de 640 W/m^2 de radiação térmica, exigindo a perda de até 1.300 g/h de água por evaporação para manter a homeostase térmica. Esse cenário é particularmente

desafiador em sistemas de produção sem sombreamento adequado, nos quais a radiação solar se torna um dos principais fatores de estresse térmico (Gaughan et al., 2010).

A exposição prolongada ao calor sem mecanismos efetivos de dissipação pode comprometer funções fisiológicas como o apetite, a atividade ruminal, a fertilidade e a produção de leite ou carne (Daltro et al., 2020). Ahlberg et al. (2018), ao avaliarem novilhos em diferentes estações, observaram que o consumo de água esteve positivamente correlacionado com a ingestão de matéria seca, temperatura do ar e radiação solar, e negativamente com a umidade relativa e a velocidade do vento. Esses achados indicam que as variáveis ambientais não apenas afetam o conforto térmico dos bovinos, mas também influenciam diretamente seu comportamento ingestivo hídrico.

Assim, o monitoramento da CTR e a adoção de estratégias de mitigação, como sombreamento natural ou artificial, tornam-se essenciais para garantir o bem-estar animal e a produtividade em regiões de clima quente (Santos et al., 2022).

2.3 Comportamento de bovinos

A compreensão dos padrões comportamentais é fundamental para a eficácia na gestão dos rebanhos e para a maximização da produtividade. Entretanto, o comportamento bovino é altamente complexo, sendo moldado por uma diversidade de fatores, incluindo condições ambientais, interações sociais e práticas de manejo humano. Essa complexidade ressalta a importância de estudar as respostas comportamentais dos bovinos frente a diferentes estímulos, visando aprimorar as estratégias de manejo e melhorar o desempenho produtivo (Behren; König; May, 2023).

O monitoramento comportamental de bovinos tem se mostrado uma abordagem eficaz tanto na identificação de eventos reprodutivos, de consumo, bem como, na detecção de distúrbios de saúde, como na claudicação (Kamphuis et al., 2013).

A ruminação é um comportamento fisiológico essencial, diretamente relacionado à digestão e à eficiência alimentar. Animais enfermos ou submetidos a estresse térmico tendem a reduzir a ingestão de alimentos, o que impacta negativamente a frequência de ruminação (Schirrmann et al., 2009).

Durante o estro, as vacas apresentam alterações comportamentais características que incluem o aumento da atividade locomotora e a manifestação de comportamentos sociais específicos, como montar e serem montadas por outras fêmeas. Tais sinais comportamentais são considerados indicadores confiáveis para a

identificação do período fértil e, conseqüentemente, para a realização da inseminação artificial no momento mais apropriado (Reith e Hoy, 2018).

As relações sociais também desempenham um papel determinante no comportamento animal. A estrutura e o tamanho do grupo influenciam diretamente padrões como vigilância e estratégias de forrageamento. Em agrupamentos maiores, há uma tendência à intensificação da vigilância coletiva, o que pode ser interpretado como uma resposta adaptativa à ameaça de predadores (Kluever, 2006). No contexto materno, vacas acompanhadas de seus bezerros demonstram comportamentos diferenciados em relação àquelas que não estão em fase de amamentação, particularmente quando submetidas a situações de risco (Kluever, 2006).

O ambiente no qual os bovinos estão inseridos influencia o comportamento, fatores como o tipo de sistema de criação, a presença de predadores e as condições climáticas exercem efeitos diretos sobre as estratégias comportamentais adotadas pelos animais (Fernandes et al., 2017). Em sistemas que utilizam ordenha automatizada, por exemplo, observa-se uma adaptação comportamental por parte dos bovinos, visando otimizar as interações com os equipamentos tecnológicos (Behren; König; May, 2023).

Segundo Maffei et al. (2006), diferentes raças apresentam perfis comportamentais distintos, como maior ou menor docilidade, reatividade ou sociabilidade. Os autores relatam que bovinos da subespécie *Bos taurus* apresentam menor reatividade comportamental e respostas menos intensas durante o manejo em comparação a animais *Bos indicus*, que tendem a manifestar respostas fisiológicas mais acentuadas diante de situações estressantes. Os autores também salientam que o temperamento é uma característica comportamental de grande importância zootécnica, influenciando o desempenho produtivo, a sanidade e o bem-estar dos bovinos. A avaliação dessa característica pode ser realizada por meio de métodos subjetivos e objetivos, empregando técnicas de observação visual ou dispositivos eletrônicos (Maffei et al., 2006).

A análise do comportamento animal tem se tornado uma ferramenta essencial para a promoção do bem-estar e para a otimização da produtividade em sistemas de criação de bovinos, podendo ser utilizadas como indicadores indiretos de conforto, sanidade e desempenho produtivo (Pichlbauer et al., 2024; Raynor et al., 2021).

Um exemplo clássico de análise comportamental envolve a avaliação do comportamento alimentar em bovinos de corte ou leite, observando o tempo dedicado ao pastejo, ruminação e ócio, frequência de deslocamento e interações sociais, tempo em decúbito, frequência de mudanças de posição e frequência e duração da ingestão de

água (Mezzalira et al., 2011). Essas variáveis podem ser obtidas por diferentes metodologias, incluindo a observação direta, o monitoramento por meio de registros em vídeo e, mais recentemente, o uso de tecnologias digitais, como coleiras equipadas com acelerômetros e sensores de pressão instalados em focinheiras ou bebedouros (Mezzalira et al., 2011; Raynor et al., 2021).

O comportamento de consumo de água em bovinos de corte tem sido estudado como um fator determinante na eficiência produtiva e no bem-estar animal. Diversas variáveis comportamentais relacionadas ao consumo de água têm sido avaliadas em estudos científicos, incluindo a frequência de visitas ao bebedouro, o tempo de permanência por visita, o volume total ingerido por dia, a distribuição horária do consumo e a influência da temperatura ambiente (Pires et al., 2022).

O consumo de água e o comportamento de consumo em bovinos de corte são significativamente influenciados pela qualidade da água, o que pode afetar a saúde animal e a eficiência da produção (Hersom e Crawford, 2008). O acesso à água limpa e fresca é essencial para a saúde e um desempenho ideal, pois os contaminantes podem levar à diminuição do consumo de água e, conseqüentemente, à redução do consumo de ração e da saúde geral (Hersom e Crawford, 2008; Wagner e Engle, 2021).

Romanzini et al. (2024) avaliaram o comportamento hídrico de bovinos de corte Droughtmaster submetidos à suplementação de nutrientes via água sob diferentes condições ambientais, em sistemas de confinamento e de pastagem. As variáveis analisadas pelos autores incluíram o volume diário de água ingerido, o tempo gasto em bebedouros, a taxa de ingestão de água (litros por minuto) e a preferência dos animais por água com suplemento ou sem suplemento. Além disso, os autores monitoraram fatores ambientais como temperatura, umidade e o índice de temperatura e umidade, correlacionando-os ao comportamento de consumo.

Em aprofundada revisão, Williams et al. (2017) relataram que a frequência de ingestão hídrica em bovinos exerce uma influência direta sobre a quantidade de água consumida, além de impactar outros parâmetros produtivos. Seus achados indicam que vacas leiteiras com acesso contínuo à água apresentaram um consumo de água superior em aproximadamente 12% a 13% em relação às que tiveram acesso restrito, além de exibirem maior produção de leite e teor de gordura no leite. No caso de bovinos de corte, os animais com acesso à água uma vez ao dia, consumiram de 15% a 25% mais água do que aqueles com acesso a cada dois ou três dias, concomitantemente apresentando maior ingestão de alimentos. A revisão também evidencia que a relação entre o consumo de água e o desempenho produtivo de bovinos de corte em sistemas de pastejo

necessita de estudos aprofundados sob regimes de consumo voluntário.

O estudo de Dressler et al. (2023) quantificou variáveis comportamentais associadas à ingestão de água em bovinos de corte confinados. Os autores avaliaram cinco comportamentos de ingestão de água: número de sessões diárias, taxa de ingestão, tamanho da sessão, tempo por sessão e intervalo entre sessões. Os resultados indicaram que o número médio de visitas diárias aos bebedouros foi de 6,4 vezes, com uma variação significativa entre indivíduos. A duração média de cada sessão de ingestão foi de 1,68 minutos, resultando em um tempo total diário de aproximadamente 10 minutos dedicados ao consumo de água.

Estudos recentes utilizando tecnologia eletrônica de monitoramento permitiram caracterizar com maior precisão o comportamento ingestivo de água por bovinos de corte mantidos em pastagens tropicais. Independentemente da raça, observou-se que touros jovens costumam acessar os bebedouros entre duas e três vezes ao dia, com um consumo médio diário em torno de 18,1 litros. O tempo total dedicado à ingestão hídrica ao longo do dia ultrapassa ligeiramente seis minutos. A taxa média de ingestão foi estimada em 4,4 litros por minuto, enquanto o volume consumido por visita ao bebedouro foi, em média, de 6,8 litros (Garcia et al., 2024).

2.4 Crescimento e composição de carcaça de bovinos

O conhecimento das características da carcaça bovina é fundamental para otimizar a qualidade da carne, aumentar a eficiência produtiva, atender às exigências do mercado consumidor e direcionar estratégias de manejo e seleção que visem à sustentabilidade da cadeia produtiva da carne (Rodrigues Filho et al., 2013).

As características da carcaça associadas ao rendimento de porção comestível são avaliadas com base nas proporções dos tecidos muscular e adiposo em relação ao peso da carcaça (Gomide; Ramos; Fontes, 2013) e inclui a área de olho de lombo, a espessura da gordura subcutânea e a gordura intramuscular, atributos essenciais para prever o rendimento e a qualidade da carne (Gomes et al., 2021).

O peso de carcaça quente é uma medida quantitativa realizada como a última operação do abate antes das lavagens das carcaças e da entrada no resfriamento. As meias carcaças são pesadas separadamente e, posteriormente, somadas para obtenção do peso de carcaça quente. O peso de carcaça fria é medido após o resfriamento da carcaça, sendo utilizado para estimar as perdas por resfriamento e o rendimento de cortes na desossa (Gomes et al., 2021).

A área de olho de lombo é uma característica indicadora de musculosidade e

determinante na qualidade da carcaça e dos cortes cárneos nobres (Faria, 2012; Yokoo et al., 2011). Animais que apresentam maior área de olho de lombo, em comparação com seus pares, apresentam maior quantidade de músculos na carcaça (Bonin et al., 2014).

A espessura de gordura subcutânea é uma característica indicativa do grau de acabamento da carcaça (Suguisawa; Matos; Suguisawa, 2013). Os frigoríficos exigem o mínimo três milímetros de espessura de gordura subcutânea nos animais para o abate, pois o acabamento funciona como um isolante térmico, diminuindo a velocidade de resfriamento da carcaça, evitando o encurtamento das fibras musculares e o endurecimento causado pelo resfriamento (Júnior, 2020; Santos et al., 2015).

A gordura intramuscular caracteriza-se pelo tecido adiposo visível presente entre os feixes das fibras musculares e está associada a importantes características qualitativas da carne como suculência, sabor, palatabilidade e maciez, além de sua aparência visual, fator que influencia a escolha pelos consumidores no ato da compra (Gomes et al., 2021).

As avaliações das características da carcaça envolvem sistemas de classificação padronizados de avaliação visual e técnicas *in vivo* como a ultrassonografia (Brasil, 2004; Yokoo et al., 2011; Hale et al., 2013) considerada uma ferramenta não invasiva e eficiente para a avaliação da composição corporal, a qualidade e rendimento da carcaça, a taxa de crescimento e determinar do momento ideal para realização do abate dos animais, evitando gastos desnecessário com alimentação e manejo (Souza et al., 2016; Yokoo et al., 2011).

Introduzida inicialmente nos Estados Unidos na década de 1950, a técnica de ultrassonografia passou por avanços consideráveis, permitindo a obtenção de estimativas precisas de características da carcaça em animais vivos, como área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura na garupa (Stouffer, 2004).

O princípio da ultrassonografia fundamenta-se na emissão de ondas sonoras de alta frequência que, ao atravessarem os tecidos corporais, são refletidas variando conforme a densidade e composição dos mesmos (Abu-Zidan et al., 2011). Essas reflexões são captadas por um transdutor posicionado sobre a pele do animal, gerando imagens em tempo real que possibilitam a mensuração de parâmetros como área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, espessura de gordura na picanha e marmoreio (Suguisawa, 2002; Suguisawa, et al.; 2013).

O procedimento de coleta de imagens é realizado utilizando-se um aparelho de

ultrassom com transdutor linear, geralmente de 3,5 MHz, adequado para a visualização de tecidos ósseos, musculares e adiposos (Greiner et al., 2003). As imagens obtidas por ultrassonografia devem ser analisadas por profissionais capacitados, utilizando softwares específicos desenvolvidos para mensuração de características de carcaça (Greiner et al., 2003).

Em bovinos, a coleta das imagens é comumente realizada no músculo *Longissimus thoracis* na região entre a 12^a e 13^a costelas e na região entre o íleo e o ísquio, sobre os músculos *Gluteos medius* e *Biceps femoris*, sendo necessário o preparo da área com aplicação de um acoplante, por exemplo o óleo vegetal, como condutor para assegurar boa penetração e recepção das ondas sonoras (Silva et al., 2017; Santos; Santos, 2019).

A ultrassonografia tem sido amplamente utilizada para estimar, com alta acurácia, características fenotípicas como área de olho de lombo e espessura de gordura em bovinos vivos, permitindo sua utilização em programas de seleção genética voltados à melhora da qualidade de carcaça e desempenho produtivo (Greiner et al., 2003; Grigoletto et al., 2020; Yokoo et al., 2011).

Em estudo conduzido por Greiner et al. (2003), foram observadas fortes correlações entre as medidas obtidas por ultrassonografia em animais vivos e as mensurações realizadas diretamente na carcaça após o abate, indicativo que a ultrassonografia é uma ferramenta confiável para a estimativa de características fenotípicas de interesse zootécnico, fornecendo subsídios relevantes para a seleção de animais com maior potencial de rendimento e qualidade de carcaça.

Além de sua aplicação direta no manejo e seleção fenotípica, a ultrassonografia tem se mostrado uma ferramenta útil no contexto da seleção assistida por marcadores moleculares. Grigoletto et al. (2020) investigaram a arquitetura genética de características de carcaça e qualidade da carne em bovinos composto Montana Tropical[®], com base em dados obtidos da área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, gordura na garupa e grau de marmoreio. Por meio de análises de associação genômica ampla, os autores identificaram regiões cromossômicas associadas a essas características, destacando genes candidatos de interesse zootécnico. Os resultados reforçam o potencial da ultrassonografia como ferramenta auxiliar em programas de melhoramento genético, ao permitir a identificação precoce e acurada de fenótipos desejáveis para composição de carcaça e qualidade da carne.

Tradicionalmente, a maioria dos estudos sobre eficiência alimentar em bovinos tem focado na ingestão de matéria seca e no desempenho produtivo, no entanto, o

consumo de água vem ganhando atenção por sua possível relação com características de carcaça e desempenho animal (Ahlberg et al., 2019).

Nos últimos anos, pesquisadores têm buscado entender não apenas o volume de água ingerido, mas também como a eficiência de uso da água se relaciona com parâmetros de carcaça e qualidade da carne, com intuito de identificar animais mais eficientes tanto em produtividade quanto no uso sustentável dos recursos hídrico (Macamba et al., 2024).

Segundo Pires et al. (2022), o consumo hídrico (CH) está positivamente correlacionado com características de crescimento e desempenho em bovinos, como o peso metabólico médio, consumo de matéria seca (CMS) e ganho médio diário (GMD). Além disso, observou-se que o CH também se correlaciona com a área de olho de lombo, especialmente em machos, sugerindo que a maior ingestão de água pode estar associada a uma maior deposição de tecido muscular.

Em investigação da relação entre a pegada hídrica volumétrica e as características da carcaça e da carne em bovinos confinados de diferentes portes corporais, Macamba et al. (2024) observaram correlações significativas entre a eficiência de ingestão de água, a eficiência de consumo de água e a relação entre água e alimento com o peso de carcaça quente e fria, área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, bem como, as variáveis de qualidade da carne. Os autores relatam que a associação entre o consumo de água e as características da carcaça não são consistentes entre diferentes genótipos, sugerindo que a influência da eficiência hídrica sobre a carcaça está relacionada a fatores genéticos, nutricionais e ambientais. Ainda assim, os indicadores hídricos podem representar uma ferramenta complementar em programas de seleção genética voltados à sustentabilidade e à produção de carne de qualidade.

A relação entre consumo hídrico e características de carcaça parece ainda mais evidente ao se considerar o consumo hídrico residual de (CHR). Pires et al. (2022) mostraram que animais com CHR mais baixo, ou seja, mais eficientes no uso de água, apresentaram diferenças significativas em variáveis como peso metabólico e espessura de gordura subcutânea, especialmente quando interagem com o sexo dos animais. Esses achados indicam que a eficiência hídrica pode afetar diretamente o desenvolvimento corporal e, por consequência, as características de carcaça. Esses achados reforçam a importância de incluir a eficiência no uso da água como critério complementar em programas de seleção genética e manejo nutricional.

2.5 Eficiência hídrica de bovinos

Nas últimas décadas, a eficiência no uso da água em bovinos de corte tem se tornado um tema central nos debates sobre sustentabilidade na pecuária. Esse interesse tem sido impulsionado por fatores como escassez hídrica, intensificação produtiva e crescente preocupação ambiental. Entender como diferentes fatores afetam o consumo de água, e como essas variáveis podem ser incorporadas em programas de seleção e manejo mais eficiente tem sido o foco central de estudos relacionados à eficiência hídrica (Pereira et al., 2021; Pires et al., 2022).

Diversas métricas têm sido propostas para quantificar a eficiência hídrica, como a ingestão de água, a relação entre água e ganho de peso e o consumo residual (Ahlberg et al., 2019; Pereira et al., 2021). Do ponto de vista genético, a literatura destaca que há variabilidade significativa entre os indivíduos quanto à eficiência hídrica, possibilitando o melhoramento genético dessa característica (Pereira et al. 2021). De fato, Souza et al. (2024) ao realizarem um estudo de associação genômica ampla com bovinos da raça Senepol, identificaram regiões do genoma associadas ao consumo total de água, ao consumo por unidade de ganho de peso e ao consumo residual, este último representa o volume ingerido além do esperado para determinado nível produtivo. Esses resultados reforçam que a eficiência hídrica tem base genética e pode ser aprimorada por meio da seleção. De forma complementar, Ahlberg et al. (2019) relataram altas herdabilidades para essas características, indicando bom potencial de progresso genético.

A eficiência hídrica também está relacionada ao comportamento dos animais. Pires et al. (2022) observaram que animais mais eficientes no uso da água, ou seja, aqueles com menor consumo residual, apresentaram maior frequência de visitas aos bebedouros, porém com menor tempo de permanência. Garcia et al. (2024) demonstraram que bovinos mais calmos, como os da raça Canchim, ingerem mais água do que animais mais reativos, como os da raça Nelore, possivelmente por apresentarem menor estresse e maior adaptação comportamental. Fatores sociais, como hierarquia e dominância, também afetam o acesso aos recursos hídricos, influenciando o comportamento ingestivo dos animais (Pires et al., 2022).

O ambiente, especialmente o microclima, é outro fator determinante para o consumo de água. Em estudo realizado na Indonésia, Santoso et al. (2023) mostraram que o uso de sistemas de resfriamento por aspersão em instalações de confinamento reduziu o estresse térmico e melhorou as respostas fisiológicas dos bovinos, contribuindo para um uso mais eficiente da água. Por sua vez, Pires et al. (2022)

observaram que animais criados em regiões quentes, passaram mais tempo nos bebedouros em comparação com bovinos criados em climas mais amenos, o que reforça a importância de considerar as condições ambientais em estratégias de manejo e seleção.

No que diz respeito às características de carcaça, a eficiência hídrica também apresenta associações relevantes. Macamba et al. (2024), ao avaliarem bovinos em confinamento, observaram que o consumo de água por unidade de alimento esteve positivamente relacionado ao peso da carcaça quente e fria. Pires et al. (2022) identificaram correlações entre o consumo de água com o peso corporal inicial, consumo de matéria seca e peso metabólico, todos fatores ligados à composição da carcaça, como área de olho de lombo e espessura de gordura.

Do ponto de vista histórico, houve uma redução expressiva no volume de água utilizado por quilograma de carne produzida nos Estados Unidos entre 1991 e 2019 resultante de melhorias em genética, nutrição e manejo, demonstrando que estratégias voltadas à sustentabilidade têm sido eficazes e devem ser continuamente aprimoradas (Klopatek e Oltjen, 2022).

A eficiência hídrica envolve aspectos genéticos, ambientais e comportamentais, com impactos diretos sobre o desempenho produtivo e a qualidade da carcaça. Estudos apontam que características como o consumo hídrico residual apresentam variabilidade individual e herdabilidade moderada, possibilitando sua inclusão em programas de melhoramento genético (Souza et al., 2024; Pires et al., 2022; Pereira et al., 2021). Além disso, incorporar essa métrica em estratégias de manejo e seleção animal pode contribuir significativamente para uma pecuária mais eficiente e sustentável, especialmente em ambientes tropicais com crescente pressão por recursos hídricos (Klopatek e Oltjen, 2022; Palhares et al., 2021).

3 REFERÊNCIAS

- ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA EXPORTADORA DE CARNE. *Beef Report: perfil da pecuária no Brasil*. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.abiec.com.br>. Acesso em: 03 abril 2025.
- ABU-ZIDAN, F. M.; HEFNY, A. F.; CORR, P. Clinical ultrasound physics. *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*, v. 4, n. 4, 2011.
- AHLBERG, C. M. et al. Environmental effects on water intake and water intake prediction in growing beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 96, n. 10, p. 4368–4384, 2018.
- AHLBERG, C. M. et al. Characterization of water intake and water efficiency in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 97, n. 12, p. 4770–4782, 2019.
- ANDERSON DA SILVA SANTOS, V.; COSTA DE MEDEIROS, V. W.; GONÇALVES, G. E. Monitoring and classification of cattle behavior: a survey. *Smart Agricultural Technology*, v. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100091>.
- ARAÚJO, R. R. et al. Qualidade da água de bebida para bovinos de corte no estado de Mato Grosso. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n. 4, p. 1511–1524, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa no 9, de 4 de maio de 2004. Aprova o Sistema Brasileiro de Classificação de Carcaças de Bovinos (SBCCB). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 141, n.85, p.3, 4 de maio de 2004.
- BEHREN, L. E.; KÖNIG, S.; MAY, K. Genomic selection for dairy cattle behaviour considering novel traits in a changing technical production environment. *Genes*, out. 2023.
- BONIN, M. N. et al. Sire effects on carcass and meat quality traits of young Nellore bulls. *Genetics and Molecular Research*, v. 13, n. 2, p. 3250–3264, 29 abr. 2014.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 4, p. 1594–1613, 2013.
- BREW, M. N. et al. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livestock Science*, v. 140, p. 297–300, 2011.
- BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, v. 24, n. 3, p. 711–714, 1981.
- COSTA, K. M. L. et al. Influência do estresse térmico sobre os aspectos produtivos e reprodutivos de bovinos: revisão. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, e230973837, 2020.
- DALCIN, V. C. et al. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 45, n. 8, p. 458–465, 2016.
- DALTRO, A. M. et al. Efeito do estresse térmico por calor na produção de vacas leiteiras. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 26, n. 1, p. 288–311, 2020. DOI: 10.36812/pag.2020261288-311.

- DIAS, B. B. P. DE A. et al. Característica de carcaça de bovinos suplementados. *Nutri Time*, v. 13, n. 4, p. 1–11, 2017.
- DRESSLER, E. A. et al. Heritability and variance component estimation for feed and water intake behaviors of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v. 101, p. 1–19, 2023.
- ERCIN, A. E.; HOEKSTRA, A. Y. Water footprint scenarios for 2050: a global analysis. *Environment International*, v. 64, p. 71–82, 2014.
- FARIA, M. H. DE. A ultrassonografia como critério de abate em bovinos de corte. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 9, n. 1, 2012.
- FENSHAM, R. J.; FAIRFAX, R. J. Water-remoteness for grazing relief in Australian arid-lands. *Biological Conservation*, v. 141, p. 1447–1460, 2008.
- FERNANDES, T. et al. Características comportamentais dos bovinos: influências da domesticação e da interação homem-animal. *Revista Eletrônica de Veterinária*, v. 18, p. 1–29, 2017.
- FLACHSBARTH, I. et al. The role of Latin America's land and water resources for global food security: environmental trade-offs of future food production pathways. *PLoS One*, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116733>.
- FRASER, A. F.; BROOM, D. M. *Farm animal behaviour and welfare*. 3. ed. London: Baillière Tindall, 1990. 437 p.
- GAUGHAN, J. B. et al. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, v. 88, n. 12, p. 4056–4067, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2987>.
- GARCIA, D. A. et al. Differences in water consumption and temperament of young Nelore and Canchim bulls. *Tropical Animal Health and Production*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04382-1>.
- GEQI, Y. et al. Evaluation of thermal indices based on their relationships with some physiological responses of housed lactating cows under heat stress. *International Journal of Biometeorology*, v. 64, n. 12, p. 2077–2091, 2020.
- GOLHER, D. M. et al. Factors influencing water intake in dairy cows: a review. *International Journal of Biometeorology*, v. 65, n. 4, p. 617–625, 2021.
- GREINER, S. et al. The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 81, n. 3, p. 676–682, 2003.
- GRIGOLETTO, L. et al. Genetic architecture of carcass and meat quality traits in Montana Tropical® Composite beef cattle. *Frontiers in Genetics*, v. 11, p. 1–14, 2020.
- HALE, D.D; GOODSON, K; SAVELL, J.W. USDA Beef quality and yield grades, 2013. Disponível em: <https://meat.tamu.edu/beefgrading/>
- HERSOM, M.; CRAWFORD, S. *Water nutrition and quality considerations for cattle*. Gainesville: UF/IFAS Extension, University of Florida, 2008.

- JÚNIOR, G. R. Fatores que interferem na qualidade da carne bovina na propriedade rural. Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2020.
- KLOPATEK, S. C.; OLTJEN, J. W. How advances in animal efficiency and management have affected beef cattle's water intensity in the United States: 1991 compared to 2019. *Journal of Animal Science*, v. 100, n. 11, 2022.
- MACAMBA, T. N. et al. Relationship between volumetric water footprint with carcass and meat quality characteristics under intensive beef cattle production in South Africa. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, v. 19, n. 3, p. 315–328, 2024.
- MAFFEI, W.E. et al. Reatividade em ambiente de contenção móvel: uma nova metodologia para avaliar o temperamento bovino. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.58, n.6, p.1123-1131, 2006.
- MAIA, A. S. et al. Economically sustainable shade design for feedlot cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 10, 2023.
- MEKONNEN, M.M.,HOEKSTRA, A.Y., 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15, 401–415.
- MENEZES, G. R. O. et al. *Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle*. In: Internacional Committee for animal recording-ICAR CONFERENCE, 42., 2018, Auckland. *Proceedings...* Auckland, New Zealand, 7–11 Feb. 2018.
- PALHARES, J. C. P. *Consumo de água na produção animal*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013.
- PALHARES, J. C. P.; PEZZOPANE, J. R. M. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 93, p. 299–307, 2015.
- PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; NOVELLI, T. I. Water footprint of a tropical beef cattle production system: the impact of individual-animal and feed management. *Advances in Water Resources*, v. 149, p. 103853, 2021.
- PEREIRA, G. M. et al. Water requirements of beef production can be reduced by genetic selection. *Animal*, v. 15, n. 3, p. 100142, 2021.
- PEREIRA, G. Z. et al. Vis-NIRS as an auxiliary tool in the classification of bovine carcasses. *PLoS One*, v. 20, n. 1, 2025. doi: 10.1371/journal.pone.0317434
- PIRES, B. V. et al. Effects of feeding and drinking behavior on performance and carcass traits in beef cattle. *Animals*, v. 12, n. 3196, p. 1–15, 2022.
- ROMANZINI, E. et al. Drinking behaviour of beef cattle subject to water medication in various environmental conditions. *Ruminants*, 2024.
- SANTOS, M. S. DOS et al. Qualidade da carne de bovinos terminados a pasto. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, v. 18, n. 2, 11 nov. 2015.
- SANTOS, E. F. SANTOS, D. DOS. Efeitos de fatores não genéticos sobre características de carcaças obtidas por ultrassonografia em bovinos da raça crioula lageana.

Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

SANTOS, G. C. L. et al. Heat tolerance, thermal equilibrium and environmental management strategies for dairy cows living in intertropical regions. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 9, p. 1–16, 2022.

SANTOS, O, K. et al. Innovative barn cattle for microclimate management through the misting system. *Buletin Peternakan*, v. 47, n. 4, p. 207–215, 2023.

SOUZA, C. D. F. et al. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, n. 1, p. 157–164, 2002.

SOUZA, S. F. DE et al. Aplicação da ultrassonografia para avaliação de condição corporal e acabamento de carcaça em pequenos ruminantes. *Ciência Veterinária*, v. 19, n. 3, p. 1–9, 2016.

SOUZA, C. B. de et al. Estimation of genetic parameters and GWAS on water efficiency traits in the Senepol cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2024.

WAGNER, J. J; ENGLE, T. E. *Water consumption and drinking behavior of beef cattle and effects of water quality*. *Animal*, v. 37, n. 4, p. 418–435, 2021.

WARRISS, P. D. *Meat Science: An Introductory Text*, Cabi Publishing, Wallingford, USA.

WILLIAMS, L. R. Et.al. *Drinking frequency effects on the performance of cattle: a systematic review*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 101, p.1076–1092, 2017.

YOKOO, M. et al. Avaliação Genética de Características de Carcaça Utilizando a Técnica do Ultrassom em Bovinos de Corte. Embrapa ed. Bagé: Embrapa, 2011. v. 1

ZANETTI, D. et al. Prediction of water intake to *Bos indicus* beef cattle raised under tropical conditions. *Journal of Animal Science*, v. 97, n. 3, p. 1364–1374, 2019.

ARTIGO 1

Eficiência hídrica de bovinos Nelore a pasto na fase de recria: interação entre comportamento de consumo de água, microclima e composição de carcaça.

Artigo redigido de acordo com as normas do periódico Livestock Science, exceto o idioma

Eficiência hídrica de bovinos Nelore a pasto na fase de recria: interação entre comportamento de consumo de água, microclima e composição de carcaça.

Laura Machado Berwerth^{a*},

^a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Avenida Senador Filinto Muller, 2443, Pioneiros, Campo Grande, MS, Brasil

* Corresponding author.

Laura Machado Berwerth: e-mail: laura.machado.b@ufms.br

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ)

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Av. Senador Filinto Müller, 2443. Cidade Universitária. 79070-900.

Campo Grande-MS, Brazil

Resumo

Diante do cenário global de escassez hídrica e crescente demanda por alimentos, a eficiência no uso da água na pecuária de corte torna-se essencial para a sustentabilidade. Este estudo teve como objetivo estimar o consumo hídrico residual (CHR) de bovinos Nelore criados a pasto e avaliar suas associações com variáveis climáticas, comportamentais e características de carcaça. Foram utilizados 77 machos Nelore em dois ciclos experimentais (2023–2025), mantidos em pastagem, com monitoramento eletrônico do consumo hídrico e do comportamento de uso de bebedouros. Avaliações corporais foram realizadas por ultrassonografia no início e ao final do experimento. Os valores médios de consumo hídrico (21,75 L/dia), CHR (0 L/dia) e eficiência hídrica (22,92 L/kg GMD) situaram-se dentro do intervalo relatado na literatura para bovinos em condições tropicais. Observou-se correlação significativa ($P < 0,05$) entre o consumo hídrico e variáveis climáticas, especialmente temperatura ($r = 0,66$) e radiação solar ($r = 0,65$). Não houve diferença ($P > 0,05$) entre as classes de CHR para as variáveis de carcaça. A seleção de animais de maior eficiência hídrica não afeta negativamente as características de carcaça. Menor consumo hídrico está relacionado a menor tempo de uso dos bebedouros, assim como a menor temperatura e radiação. Os resultados indicam que o CHR pode ser uma ferramenta promissora na identificação de animais mais eficientes no uso da água, com impacto potencial na seleção genética e no manejo sustentável da bovinocultura de corte tropical.

Palavras-chave: Comportamento ingestivo; Consumo hídrico residual; Eficiência no uso da água; Microclima; Ultrassonografia de carcaça;

Abstract

In the context of global water scarcity and increasing food demand, water-use efficiency in beef cattle production has become essential for sustainability. This study aimed to estimate the residual water intake (RWI) of pasture-raised Nelore cattle and to evaluate its associations with climatic, behavioral, and carcass traits. A total of 77 Nelore males were evaluated over two experimental cycles (2023–2025), kept on pasture and monitored using an electronic system for water intake and drinking behavior. Body measurements were performed via ultrasound at the beginning and end of the experimental period. Mean values for water intake (21.75 L/day), RWI (0 L/day), and water efficiency (22.92 L/kg ADG) were within the range reported in the literature for cattle under tropical conditions. A significant correlation ($P < 0.05$) was observed between water intake and climatic variables, especially temperature ($r = 0.66$) and solar radiation ($r = 0.65$). No significant differences ($P > 0.05$) were found between RWI classes for carcass traits. The selection of animals with greater water-use efficiency may not negatively affect carcass characteristics. Lower water intake was associated with shorter time spent at the water trough and with lower temperature and radiation levels. The results suggest that RWI may serve as a promising tool for identifying animals with greater water-use efficiency, with potential impact on genetic selection and sustainable management of tropical beef cattle production.

Keywords: Beef cattle; carcass traits; ingestive behavior; microclimate; residual water

intake; water efficiency.

1 Introdução

O aumento da demanda por alimentos de origem animal, aliado à crescente escassez de recursos naturais, impõe à pecuária o desafio de produzir de forma mais eficiente e sustentável. Nesse cenário, a água configura-se como um insumo crítico, sendo essencial não apenas para a sobrevivência dos animais, mas também para garantir seu desempenho zootécnico, bem-estar e a qualidade dos produtos obtidos (Ercin e Hoekstra, 2014; Palhares, 2017).

No Brasil, a bovinocultura de corte é predominantemente desenvolvida em sistemas de pastagens, sendo assim, está exposta a variações ambientais significativas que afetam diretamente o consumo hídrico dos animais. Fatores como temperatura, umidade relativa, radiação solar, tipo de dieta, qualidade da água, peso corporal, estágio fisiológico e comportamento animal influenciam a ingestão de água (Wagner e Engle, 2021; Schütz et al., 2019; Golher et al., 2021). Nesse contexto, torna-se necessário identificar animais que, mesmo sob tais condições, sejam capazes de utilizar a água de forma mais eficiente, mantendo seu desempenho produtivo.

Uma métrica promissora para avaliar essa habilidade é o consumo hídrico residual (CHR), definido como a diferença entre o consumo de água observado e o consumo previsto com base em variáveis como o peso metabólico. (Ahlberg et al., 2019; Menezes et al., 2018; Pires et al., 2022). Animais com CHR negativo são considerados mais eficientes, pois consomem menos água do que o esperado para seu nível de produção. Além de apresentar moderada herdabilidade, essa característica pode ser incorporada em programas de seleção genética voltados à sustentabilidade (Souza et al., 2024).

Apesar do avanço nas pesquisas sobre CHR, ainda há lacunas quanto à sua associação com características fenotípicas de carcaça, especialmente em sistemas extensivos. A composição corporal dos animais pode ser influenciada por múltiplos fatores, entre eles o comportamento de ingestão de água e o estado de hidratação, sendo que a avaliação da carcaça por ultrassonografia tem se mostrado uma ferramenta precisa e não invasiva para mensurar atributos como área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e marmoreio (Greiner et al., 2003; Silva et al., 2017; Grigoletto et al., 2020).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo relacionar o consumo hídrico residual de bovinos da raça Nelore mantidos a pasto com variáveis climáticas, comportamentais de ingestão de água e características de carcaça obtidas por ultrassonografia.

2 Material e métodos

2.1 Local e período experimental

O estudo foi conduzido na Embrapa Gado de Corte, localizada no município de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. A unidade experimental está situada em (-20.444865823226888, -54.72257723625995), a 530 metros de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima tropical chuvoso de savana, subtipo Aw, caracterizado por uma estação seca bem definida entre os meses de maio a setembro e uma estação chuvosa predominante de outubro a abril. A região está inserida no bioma Cerrado. Todos os procedimentos experimentais do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética para o Uso de Animais (CEUA) da Embrapa Gado de Corte (#002/2022).

O estudo compreendeu dois ciclos experimentais consecutivos, sendo o primeiro período de setembro de 2023 a fevereiro de 2024 (Ano 1) e o segundo de setembro de 2024 a fevereiro de 2025 (Ano 2). Para caracterização microclimática da área experimental, na Figura 1 é apresentada a comparação entre as médias históricas (2015–2022) e as médias observadas de (a) temperatura média do ar, (b) umidade relativa do ar, (c) precipitação pluviométrica e (d) radiação solar.

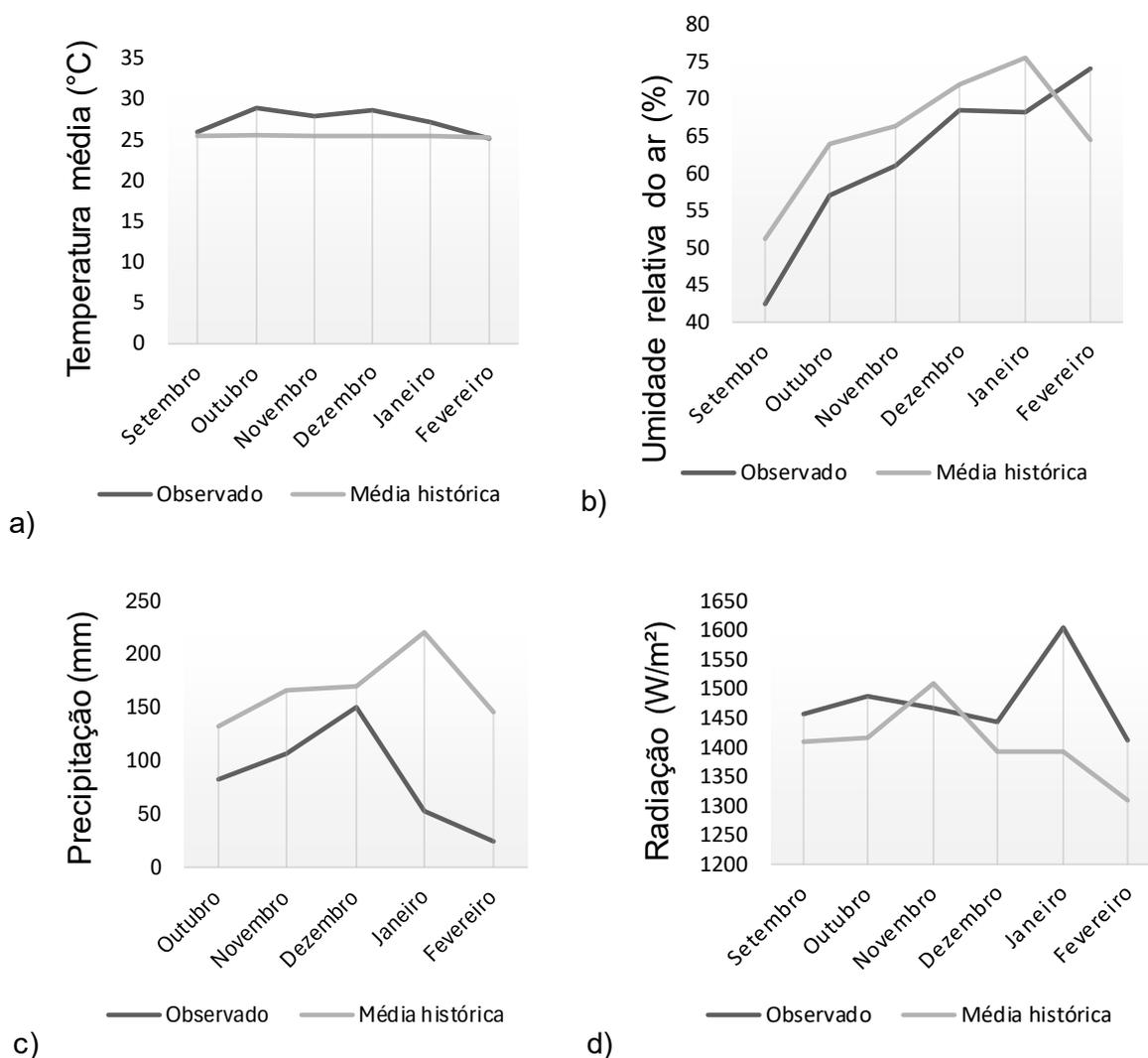


Figura 1. Médias históricas (2015–2022) e observadas das variáveis climáticas registradas durante o período experimento.

2.2 Animais e manejo experimental

Foram utilizados bovinos machos não castrados da raça Nelore. No primeiro ciclo (Ano 1) foram avaliados 38 animais, com idade média inicial de $12,87 \pm 1,13$ meses e peso corporal médio inicial de $301,21 \pm 28,58$ kg. No segundo ciclo (Ano 2) foram avaliados 39 animais, com idade média inicial de $11,68 \pm 1,12$ meses e peso corporal médio inicial de $317,33 \pm 33,73$, totalizando 77 bovinos.

O manejo sanitário foi realizado conforme protocolo padrão adotado pela Embrapa Gado de Corte, com vacinações e vermifugações de acordo com as recomendações técnicas para a região e categoria animal.

2.3 Desempenho ponderal e consumo hídrico

Os animais foram mantidos em uma área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu de 30 hectares, com disponibilidade de sombra natural, onde permaneceram por um período de 6 meses, recebendo suplementação mineral e acesso irrestrito à água. Para obtenção do consumo individual de água e do peso corporal, foram instalados dois bebedouros eletrônicos automáticos dotados de estação de pesagem Intergado®. Todos os animais foram identificados com um brinco eletrônico RFID compatível com o sistema de bebedouros eletrônicos.

A partir das informações do consumo hídrico médio diário (CHD, L/dia) e do GMD foram calculados o consumo hídrico residual (CHR, L/dia) e a Eficiência hídrica (EH, L/kg GMD). A eficiência hídrica (EH), expressa em litros por quilograma de ganho, foi determinada pela razão entre o consumo hídrico total (CH) e o ganho médio diário (GMD). Para estimar a relação entre o consumo hídrico e o peso corporal dos animais, foi calculada a porcentagem de consumo hídrico (%CH) com base no consumo hídrico diário médio (CHD, L/dia) e no peso vivo médio (PVM, em kg) dos bovinos durante o período experimental. Esse cálculo expressa o volume de água ingerido diariamente como uma fração percentual do peso corporal médio. O peso vivo médio foi obtido pela média aritmética dos pesos registrados no início e ao final do período de avaliação.

O GMD foi calculado pela divisão do ganho total de peso durante o período de teste pela sua duração. Para estimar o CHR, foi ajustado um modelo de regressão linear do consumo médio diário de água (CMDÁgua) em função do peso metabólico corporal médio do teste ($PC^{0,75}$) e do GMD, sendo esse ajuste realizado separadamente para cada edição do teste. O CHR foi obtido subtraindo-se o valor predito pelo modelo do valor observado de CMDÁgua (Pereira et. al. 2021).

2.4 Comportamento de ingestão de água

Os animais foram monitorados diariamente através da transmissão via tecnologia GPRS para a plataforma web da Ponta®. Em cada acesso ao bebedouro, o sistema registrava a identificação do animal, o número do equipamento utilizado, os horários de início e término da visita, além do peso corporal, permitindo assim, a estimativa da duração do evento e do volume de água consumido.

A avaliação do comportamento ingestivo de água foi realizada com base em

variáveis relacionadas ao uso dos bebedouros e ao consumo hídrico. Foram analisadas as seguintes variáveis: consumo hídrico médio diário (CH, L/dia), tempo de uso do bebedouro (TUB, s/dia), tempo de uso do bebedouro com consumo (TUBC, s/dia), número de visitas (VIS, n/dia), número de visitas com consumo (VISC, n/dia), tempo por visita (TVIS, s/visita) e tempo por visita com consumo (TVISC, s/visita).

2.5 Composição *in vivo* da carcaça

As avaliações de composição corporal foram realizadas por ultrassonografia de carcaça, no início e no final do período experimental, utilizando um equipamento de ultrassom Aloka SSD 500 com transdutor linear de 17,2 cm e frequência de 3,5MHz. Foram coletadas imagens da área de olho de lombo (AOL, cm²) e espessura de gordura subcutânea (EGS, mm) no músculo *Longissimus thoracis*, entre a 12^a e 13^a costelas. A espessura de gordura na picanha (EGP, mm) foi avaliada sobre o músculo *Biceps femoris*, posicionando o transdutor transversalmente entre o ílio e ísquio do animal. Todas as imagens foram coletadas e analisadas seguindo os padrões de qualidade estabelecidos pela UGC (UGC, 2012). As variáveis de ganho de AOL (gaol, cm²), ganho de EGS (gegs, mm) e ganho EGP (gegp, mm), foram obtidas através da diferença entre as medidas iniciais e finais de AOL, EGS e EGP.

2.6 Microclima e conforto térmico

As variáveis ambientais do microclima foram coletadas utilizando termohigrômetros digitais (datallogger) da marca MINIPA®, modelo Eztemp-10, instalados em abrigos meteorológicos de PVC. Os dispositivos foram utilizados para registrar a temperatura do ar (TA, °C), a temperatura de ponto de orvalho (Tpo, °C) e a umidade relativa do ar (UR, %), conforme metodologia descrita por Trumbo et al. (2012).

Para a obtenção da temperatura de globo negro (Tgn, °C), os mesmos sensores foram alocados em cápsulas plásticas pintadas externamente com tinta preta fosca, conforme descrito por Souza et al. (2002). Todos os equipamentos foram posicionados tanto em área de sol pleno quanto sob sombra, sendo fixados em gaiolas de exclusão e coletas de variáveis ambientais foram realizadas em intervalos regulares de 15 minutos. Os dados de velocidade do vento (Vv, em m/s), radiação solar (W/m²) e precipitação (mm/dia) foram obtidos a partir da estação meteorológica da Embrapa, (INMET A702) com registros a cada hora.

A partir dos registros climáticos, foram calculados o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) conforme metodologia adotada por Buffington et al. (1981); e a Carga Térmica Radiante (CTR), considerando a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ K}^{-4}$).

a) Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) (Buffington et al., 1981):

$$\text{ITGU} = t_{gn} + 0,36 t_{po} + 41,5$$

Onde: t_{gn} = temperatura do globo negro ($^{\circ}\text{C}$); t_{po} = temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

b) Carga Térmica Radiante (CTR), considerando a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ K}^{-4}$), e a temperatura radiante média, em $^{\circ}\text{K}$, sugerida por Esmay (1978):

$$\text{TMR} = 100 \sqrt[4]{(2,51 \sqrt{Vv} (T_g - T_{po}) + (T_g/100)^4)}$$

$$\text{CTR} = \sigma (\text{TRM})^4$$

Onde: CTR = Carga Térmica Radiante (W/m^2); σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$); T_{gn} = Temperatura de Globo Negro (em Kelvin).

2.7 Análise Estatística

Os dados foram analisados utilizando o software SAS[®] 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). Os animais foram classificados em classes de consumo CHR, em alto CHR ($\text{CHR} > +0,5$ desvio-padrão), baixo CHR ($\text{CHR} < -0,5$ desvio padrão) e médio CHR ($+0,5$ desvio-padrão $>$ $\text{CHR} > -0,5$ desvio padrão). As classes de CHR foram comparadas, utilizando análise de variância (ANOVA), seguida de teste de Tukey para comparação das médias, considerando um delineamento em blocos casualizados (ano de avaliação).

Foram realizadas análises de correlação simples de Pearson (r), utilizando-se o procedimento CORR do SAS, para as variáveis de comportamento ingestivo, consumo hídrico, eficiência hídrica e características de carcaça. Além disso, foram realizadas análises de correlações entre as variáveis de consumo hídrico e comportamento de uso do bebedouro com variáveis microclimáticas, mensuradas ao longo do período experimental.

Para todas as análises, foi considerado um nível de significância de 5%.

3 Resultados

Na tabela 1 são apresentadas as estatísticas descritivas das medidas de consumo hídrico, comportamento de uso do bebedouro, caracterização do ambiente e características de carcaça por ultrassom.

O CH, %CH, CHR e a EH média foram de 21,75 L/dia, 5,85% PV, 0 L/kg e 22,92 L/kg, respectivamente. Em relação ao comportamento de uso dos bebedouros, os animais permaneceram, em média, 202,78 segundos por dia, com uma média de 2,8 visitas diárias (VIS). Cada visita teve duração média de 72,39 segundos. O consumo efetivo de água (VISC) ocorreu em 2,75 visitas por dia, com duração de 72,99 segundos, semelhantes às visitas gerais.

As variáveis climáticas apresentaram médias de ITGU igual a 75,22; TA de 27,81°C; UR de 64,20%; Vv de 2,79 m/s; radiação de 1493 W/m²; precipitação de 3,13 mm/dia e CTR de 597,35 W/m².

As medidas das variáveis de composição da carcaça, apresentaram médias iniciais de AOL, EGS e EGP de 42,34 cm², 1,61 mm e 1,69 mm, respectivamente. As medidas finais de AOL, EGS e EGP apresentaram médias de 58,63 cm², 2,4 mm e 3,01 mm, respectivamente. Em relação às médias de ganhos de AOL (gaol), EGS (gegs) e EGP (gegp), obteve-se os valores de 16,35 cm²; 0,81 mm e 1,32 mm, respectivamente

Tabela 1. Estatística descritiva de medidas de consumo hídrico, comportamento de uso do bebedouro, variáveis climáticas e características de carcaça por ultrassom.

Variável	n	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-padrão
Consumo hídrico, L/dia	77	21,75	30,80	15,56	0,41
Consumo hídrico, %PV,	77	5,85	7,52	4,42	0,73
Consumo hídrico residual, L/dia	77	0	6,32	-4,62	0,29
Eficiência hídrica, L/kg GMD	77	22,92	32,75	14,77	0,37
Tempo de uso, s/dia	77	202,78	404,83	96,09	7,70
Tempo de uso com consumo, s/dia	77	220,94	397,49	95,99	7,66
Visitas, n/dia	77	2,8	4,72	2,03	0,05
Visitas com consumo, n/dia	77	2,75	4,22	2,03	0,05
Tempo por visita, s/visita	77	72,39	126,64	40,75	2,32
Tempo por visita com consumo, s/visita	77	72,99	132,65	40,83	2,38
Índice de temperatura de globo e umidade	224	75,22	88,14	62,75	4,33
Temperatura do ar, °C	240	27,81	35,55	15,40	4,26
Umidade do ar, %	240	64,20	89,33	22,87	13,25
Velocidade do vento, m/s	240	2,79	5,11	1,40	0,80
Radiação, W/m ²	240	1493	2209	214,72	416,10
Precipitação, mm/dia	240	3,13	59,6	0,00	7,24
Carga térmica radiante, W/m ²	224	597,35	8300	397,84	956,40
Área de olho de lombo inicial, cm ²	77	42,34	56,50	31,90	5,94
Área de olho de lombo final, cm ²	73	58,63	78,65	44,25	6,96
Área de olho de lombo ganho, cm ²	73	16,35	29,70	1,74	6,13
Espessura de gordura subcutânea inicial, mm	77	1,61	3,10	0,00	0,89
Espessura de gordura subcutânea final, mm	76	2,40	3,80	0,00	0,86
Espessura de gordura subcutânea ganho, mm	76	0,81	2,79	-1,02	0,90
Espessura de gordura na picanha inicial, mm	77	1,69	3,50	0,00	0,85
Espessura de gordura na picanha final, mm	77	3,01	5,08	0,51	0,85
Espessura de gordura na picanha ganho, mm	77	1,32	4,57	-0,76	1,18

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) nos coeficientes de correlação de Pearson entre as medidas de CH, %CH, EH e CHR, com as variáveis de comportamento de uso de bebedouro, TUB, TUBC, VIS, VISC, TVIS e TVISC (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre medidas de consumo hídrico em litros por dia (CH, L/dia), em porcentagem do peso vivo médio (%CH, %), eficiência hídrica (EH, L/kg GMD) e consumo hídrico residual (CHR, L/dia) e as variáveis de comportamento de uso de bebedouro: tempo de uso do bebedouro (TUB, s/dia), tempo de uso do bebedouro com consumo (TUBC, s/dia), número de visitas (VIS), número de visitas com consumo (VISC, n), TVIS (s/visita) e TVISC (s/visita) (n = 77).

Variável	TUB	TUBC	VIS	VISC	TVIS	TVISC
CH	0,10	0,09	-0,10	-0,11	0,19	0,18
%CH	0,16	0,16	0,04	0,03	0,16	0,16
CHR	0,19	0,19	1,17	0,16	0,12	0,14
EH	0,10	0,10	0,03	0,03	0,12	0,12

* = $p<0,05$; ** = $p<0,01$; *** = $p<0,0001$.

Houve efeito significativo ($P<0,05$) da classificação dos animais em diferentes grupos de eficiência hídrica (alto, médio e baixo), sobre o CH, %CH, CHR, TUB, TUBC, VIS, VISC, TVIS (Tabela 3). Os bovinos classificados como alto consumo hídrico residual apresentaram maior CH (25,02 L/dia), %CH (6,24%) e CHR (3,03 L/dia), seguidos pelos animais classificados como médio consumo hídrico residual (21,15 L/dia, 5,31% e -0,12 L/dia para CH, %CH e CHR, respectivamente) e baixo consumo hídrico residual com (19,36 L/dia, 4,78% e -2,57 L/dia, para CH, %CH e CHR, respectivamente).

Os bovinos classificados como alto consumo hídrico residual apresentaram TUB, TUBC, VIS, VISC, semelhante aos bovinos classificados como médio e baixo consumo hídrico residual (tabela 3). No entanto, os animais da classe com médio consumo hídrico residual, apresentaram maior tempo de uso do bebedouro, tempo de uso com consumo, visitas e visitas com consumo comparados com os animais de baixo consumo hídrico residual.

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) das classe de consumo hidrico sobre as variáveis TVIS e TVISC.

Tabela 3. Comportamento de uso do bebedouro em função da classe de consumo hídrico residual (CHR).

Variável	Classe de CHR			EPM	P>F
	Alto	Médio	Baixo		
CH (L/dia)	25,02 ^A	21,15 ^B	19,36 ^C	0,41	<0,0001
CHR (L/dia)	3,03 ^A	-0,12 ^B	-2,57 ^C	0,29	<0,0001
% CH	6,24 ^A	5,31 ^B	4,78 ^C	0,73	<0,0001
TUB (s/dia)	215 ^{AB}	228 ^A	176 ^B	7,67	0,0214
TUBC (s/dia)	213 ^{AB}	219 ^A	174 ^B	7,66	0,0190
VIS (n/dia)	2,85 ^{AB}	2,97 ^A	2,60 ^B	0,05	0,0024
VISC (n/dia)	2,79 ^{AB}	2,90 ^A	2,57 ^B	0,05	0,0030
TVIS (s/visita)	75,30	74,64	67,63	2,33	0,3257
TVISC (s/visita)	76,23	75,75	67,44	2,38	0,2330

CH= consumo hídrico; CHR= consumo hídrico residual; %CH= consumo hídrico em porcentagem do peso vivo médio; TUB= tempo de uso; TUBC= tempo de uso com consumo; VIS= número de visitas ; VISC= número de visitas com consumo; TVIS= tempo por visita; TVISC= tempo por visita com consumo. EPM = erro-padrão da média; P>F = probabilidade de um erro tipo I. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey-Kramer a 5% de significância.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis climáticas e medidas de consumo hídrico (CH) e de comportamento de uso do bebedouro por bovinos Nelore mantidos a pasto. Os dados revelam que as variáveis ambientais influenciam o comportamento ingestivo e o uso de recursos hídricos pelos animais.

Verificou-se correlação positiva significativa entre o consumo hídrico e a temperatura máxima ($r = 0,66$; $p < 0,0001$), média ($r = 0,57$; $p < 0,0001$) e mínima ($r = 0,26$; $p < 0,0001$). Da mesma forma, observou-se que o tempo total de uso do bebedouro (TUB), o tempo com consumo efetivo (TUBC), o número de visitas (VIS) e o número de visitas com consumo (VISC) apresentaram correlações positivas com a temperatura máxima e média, cujos coeficientes oscilaram entre $r = 0,57$ e $r = 0,66$ ($p < 0,0001$).

Em contrapartida, a umidade relativa do ar apresentou correlação negativa significativa com todas as variáveis relacionadas ao consumo hídrico e ao comportamento de uso do bebedouro, especialmente a umidade média, com variação do coeficiente de correlação entre $r = -0,59$ a $r = -0,64$ ($p < 0,0001$). Esses achados são indicativos que, em condições de menor umidade, os animais aumentaram tanto o consumo quanto a frequência de visitas ao bebedouro.

A radiação solar influenciou positivamente o comportamento hídrico dos animais, sendo observado correlações moderadas a fortes entre a radiação média e as variáveis CH ($r = 0,65$; $p < 0,0001$), TUB ($r = 0,60$; $p < 0,0001$), TUBC ($r = 0,59$; $p < 0,0001$) e VIS ($r = 0,55$; $p < 0,0001$), respectivamente.

Correlações positivas foram observadas entre a velocidade do vento e as variáveis CH ($r = 0,14$; $p < 0,05$), TUB ($r = 0,24$; $p < 0,01$) e VISC ($r = 0,34$; $p < 0,0001$), e negativas com TVIS ($r = -0,18$; $p < 0,01$) e TVISC ($r = -0,13$; $p < 0,05$), sugerindo que ventos mais intensos reduzem o tempo de permanência por visita, embora aumentem a frequência de visitas.

Por sua vez, a precipitação apresentou correlação negativa com o CH ($r = -0,46$; $p < 0,0001$), indicativo de que, em dias chuvosos houve menor ingestão hídrica e menos visitas aos bebedouros.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson de medidas de consumo hídrico e de comportamento de uso do bebedouro com variáveis climáticas (n = 240).

Variável	CH	TUB	TUBC	VIS	VISC	TVIS	TVISC
ITGU	0,08	0,27***	0,28***	0,35***	0,30***	-0,09	-0,01
Temperatura, °C							
Mínima	0,26***	0,33***	0,33***	0,33***	0,32***	0,01	0,05
Máxima	0,66***	0,63***	0,63***	0,60***	0,58***	0,14*	0,17**
Média	0,57***	0,60***	0,60***	0,57***	0,66***	0,10	0,14*
Umidade, %							
Mínima	-0,66***	-0,62***	-0,63***	-0,58***	-0,58***	-0,14*	-0,15*
Máxima	-0,46***	-0,52***	-0,53***	-0,49***	-0,49***	-0,06	-0,07
Média	-0,60***	-0,63***	-0,64***	-0,59***	-0,59***	-0,12	-0,14*
Vel. do vento, m/s							
Mínima	0,04	0,12	0,12*	0,22**	0,22**	-0,18**	-0,17**
Máxima	-0,05	0,09	0,09	0,16*	0,16*	-0,15*	-0,13*
Média	0,14*	0,24**	0,26***	0,34***	0,34***	-0,18**	-0,13*
Radiação, W/m ²							
Mínima	0,25**	0,28***	0,29***	0,28***	0,27***	0,01	0,05
Máxima	0,47***	0,42***	0,42***	0,39***	0,38***	0,15*	0,18**
Média	0,65***	0,60***	0,59***	0,55***	0,54***	0,18**	0,19**
Precipitação, mm	-0,46***	-0,41***	-0,41***	-0,34***	-0,35***	-0,19**	-0,18**
CTR, W/m ²	0,01	0,06	0,06	0,12	0,09	-0,01	-0,05

ns = não significativo; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,0001$. CH (L/dia) = consumo hídrico; TUB (s/dia) = tempo de uso do bebedouro, TUBC (s/dia) = tempo de uso do bebedouro com consumo; VIS (n/dia) = número de visitas; VISC (n/dia) = número de visitas com consumo; TVIS (s/visita) = tempo por visita e TVISC (s/visita) = tempo por visita com consumo; ITGU = índice de temperatura de globo e umidade; CTR= carga térmica radiante; Vel. Do vento= velocidade do vento.

As análises de correlação de Pearson entre as medidas de CH, EH, CHR e as

medidas iniciais, finais e de ganho de AOL, EGS, EGP (tabela 5) revelaram que o CH apresentou correlação significativa e positiva com a EGS inicial ($r = 0,35$; $P < 0,01$), com a EGP ($r = 0,45$; $P < 0,0001$) e com EGS final ($r = 0,23$; $P < 0,05$).

A EH correlacionou-se positivamente com a AOL e EGS iniciais ($r = 0,31$ ($P < 0,01$) e $r = 0,26$ ($P < 0,05$)), respectivamente.

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson entre as medidas de consumo hídrico (CH, L/dia), %CH (consumo hídrico em porcentagem do peso vivo médio) e consumo hídrico residual (CHR, L/dia) e eficiência hídrica (EH, L/kg GMD) e as medidas iniciais, finais e de ganho de área de olho de lombo (AOL, cm²), espessura de gordura subcutânea (EGS, mm) e espessura de gordura na picanha (EGP, mm), por ultrassonografia (n = 76).

Variável	Inicial			Final			Ganho		
	AOL	EGS	EGP	AOL	EGS	EGP	AOL	EGS	EGP
CH	0,13	0,35**	0,45***	0,20	0,23*	0,15	0,14	-0,13	-0,21
%CH	-0,08	0,20	0,28*	0,01	0,05	0,00	0,01	-0,15	-0,20
CHR	-0,03	0,11	0,12	-0,10	-0,05	-0,05	-0,09	-0,16	-0,13
EH	0,31**	0,26*	0,20	0,15	0,17	0,03	0,01	-0,09	-0,12

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,0001$.

Quando comparadas as médias das características de carcaça entre as diferentes classes de CHR (alto, médio e baixo) não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($P > 0,05$) para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 6).

Tabela 6. Medidas iniciais, finais e ganho de características de carcaça por ultrassonografia em função da classe de consumo hídrico residual (CHR).

Variável	Classe de CHR			EPM	P>F
	Alto	Médio	Baixo		
Inicial					
AOL, cm ²	42,2	42,1	42,8	0,68	0,8946
EGS, mm	1,66	1,60	1,55	0,10	0,8675
EGP, mm	1,82	1,64	1,60	0,10	0,4058
Final					
AOL, cm ²	55,86	53,04	59,75	1,53	0,1764
EGS, mm	2,49	2,29	2,43	0,10	0,6593
EGP, mm	2,96	3,07	2,99	0,10	0,8895
Ganho					
AOL, cm ²	13,67	10,82	16,95	1,57	0,2154
EGS, mm	0,83	0,72	0,88	0,10	0,8064
EGP, mm	1,14	1,44	1,39	0,13	0,5978

EPM = erro-padrão da média; P>F = probabilidade de um erro tipo I. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste Tukey-Kramer a 5% de significância.

4 Discussão

Os valores médios observados de CH (21,75 L/dia), CHR (0,0 L/dia) e EH (22,92 L/kg GMD) situam-se dentro das faixas reportadas na literatura para bovinos mantidos em sistemas de pastejo em regiões tropicais, que variam entre 16 e 24 L/dia (Zanetti et al. 2019; Brew et al. 2011). A amplitude desses valores reflete a influência multifatorial sobre o consumo de água, incluindo raça, temperatura ambiente, tipo de dieta e estágio fisiológico dos animais (Wagner e Engle, 2021).

Ahlberg et al. (2017) relataram que bovinos consumiram, em média, 10,03% do peso corporal em água durante o verão, enquanto no inverno esse valor foi reduzido para 6,90%. No presente estudo, o consumo hídrico médio observado foi de 5,85% do peso vivo, valor inferior aos reportados por esses autores, inclusive em condições de inverno. Essa diferença pode estar associada às condições ambientais, presença de sombra natural, tipo de dieta e manejo alimentar. Além disso, fatores como a raça dos animais e estágio fisiológico, podem influenciar significativamente os resultados.

Ao avaliar o comportamento de uso do bebedouro, os bovinos permaneceram, em média, 3,4 minutos por dia no bebedouro, distribuídos em aproximadamente 2,8 visitas diárias. Observou-se que, em 2,75 dessas visitas, houve ingestão efetiva de água, o que evidencia elevada taxa de aproveitamento das aproximações ao bebedouro. Esses dados indicam padrão de comportamento hídrico eficiente, com reduzido número de visitas ociosas, o que pode estar relacionado à adequada disponibilidade e acessibilidade hídrica no sistema.

Ao analisar a associação entre CHR e o comportamento de visita ao bebedouro, os resultados deste estudo divergem parcialmente dos relatados por Pires et al. (2022), os quais apontaram que animais com menor CHR tendem a realizar maior número de visitas, porém de curta duração. Neste estudo, os bovinos classificados com CHR médio apresentaram tanto maior frequência de visitas quanto maior tempo total de permanência no bebedouro em comparação aos animais com CHR baixo. Essa diferença pode indicar que os animais com consumo hídrico mais ajustado (CHR médio) otimizam tanto a frequência quanto a duração das visitas, refletindo um possível equilíbrio entre demanda fisiológica e comportamento adaptativo frente às condições ambientais. Essa divergência pode estar associada à variabilidade individual do comportamento ingestivo, que, como destacado por

Wagner e Engle (2021), é modulada por fatores fisiológicos, ambientais e sociais. O fato de a maior parte das visitas resultar em consumo, reforça a hipótese de comportamento orientado à ingestão, corroborando os achados de Romanzini et al. (2024), que consideram o padrão de visita um importante indicativo de bem-estar e eficiência no uso da água.

Quanto ao ambiente, o valor médio de ITGU (75,22) indica condições de alerta para estresse térmico, conforme a classificação de Buffington et al. (1981). Além disso, a média CTR (597,35 W/m²), associada à alta temperatura e umidade, caracteriza um cenário de desafio térmico, como apontado por Santoso et al. (2023) e Ahlberg et al. (2018). Esses fatores ambientais podem justificar parte das variações no consumo e uso do bebedouro entre os grupos de CHR.

Os resultados também revelaram ausência de correlação estatística significativa entre CH, CHR e EH com as variáveis de comportamento (tabela 2), reforçando que a eficiência hídrica não se explica apenas pelo tempo ou frequência de visitas, mas sim por um conjunto de variáveis, incluindo características individuais e resposta ao ambiente.

Ainda assim, a análise das classes de CHR (tabela 3) mostrou diferenças significativas entre os grupos quanto ao CH, CHR e comportamento de uso do bebedouro, indicando que essa classificação é útil para identificar variações funcionais entre os animais quanto à ingestão hídrica. Os bovinos de CHR alto apresentaram maior CH, conforme esperado, mas não diferiram no tempo por visita, sugerindo que consomem mais água por sessão, e não necessariamente por frequência, em linha com Pires et al. (2022) e Garcia et al. (2024), que destacam o impacto do temperamento e dominância no acesso ao bebedouro.

As condições climáticas (tabela 4), demonstraram correlações positivas entre CH e variáveis como temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento, e negativas com a umidade e precipitação. Esses resultados estão em conformidade com a literatura, que indica que altas temperaturas e radiação aumentam a necessidade de ingestão hídrica para manutenção da homeostase (Santos et al., 2022; Santoso et al., 2023).

Em relação às características de carcaça, houve correlação significativa entre o CH e a espessura de gordura subcutânea (EGS) e na picanha (EGP) no início do experimento (tabela 5), sugerindo que animais com maior ingestão de água tendem a

apresentar melhor cobertura de gordura, o que está alinhado com os achados de Ahlberg et al. (2019) e Brew et al. (2011), que relacionaram maior consumo hídrico a melhor desempenho e maior peso de carcaça.

Por outro lado, o CHR não apresentou correlações significativas com as variáveis de carcaça, sugerindo que, no curto prazo, o CHR pode não refletir diretamente mudanças na composição corporal, hipótese já levantada por Pires et al. (2022). Ainda assim, a análise da tabela 6 indica que animais com CHR baixo apresentaram maior ganho de AOL, apontando para uma possível vantagem em termos de desenvolvimento muscular, conforme observado por Macamba et al. (2024).

Por fim, EH mostrou correlação positiva com as medidas corporais iniciais, como AOL e EGS, o que pode indicar que animais mais eficientes já apresentam melhores condições corporais no início do ciclo produtivo, favorecendo o desempenho ao longo do tempo, coerente com as observações de Souza et al. (2024).

5 Conclusão

Os resultados obtidos demonstram que existem variações significativas no consumo de água entre bovinos Nelore criados a pasto, e que essas diferenças podem ser parcialmente explicadas por fatores climáticos e comportamentais. O consumo hídrico apresentou correlação com variáveis ambientais como temperatura e radiação solar. Os resultados sugerem que o CHR pode ser utilizado como ferramenta complementar para identificar animais mais adaptados às condições de criação em ambientes tropicais, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de produção, sem afetar negativamente a qualidade de carcaça produzida.

6 Referências

Ahlberg, C.M., et al., 2018. Environmental effects on water intake and water intake prediction in growing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 96(10), 4368–4384.

Ahlberg, C.M., et al., 2019. Characterization of water intake and water efficiency in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 97(12), 4770–4782. <https://doi.org/10.1093/jas/skz354>

Anderson da Silva Santos, V., et al., 2023. Monitoring and classification of cattle behavior: a survey. *Smart Agric. Technol.* 3, 100091. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100091>

Brew, M.N., et al., 2011. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livest. Sci.* 140, 297–300. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.030>

Buffington, et al., 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans. ASAE* 24(3), 711–714.

Dressler, E.A., et al., 2023. Heritability and variance component estimation for feed and water intake behaviors of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 101, 1–19. <https://doi.org/10.1093/jas/skad386>

Ercin, A.E., Hoekstra, A.Y., 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environ. Int.* 64, 71–82. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.019>

Garcia, D.A., et al., 2024. Differences in water consumption and temperament of young Nellore and Canchim bulls. *Trop. Anim. Health Prod.*

Golher, D.M., et al., 2021. Factors influencing water intake in dairy cows: a review. *Int. J. Biometeorol.* 65(4), 617–625. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02038-0>

Greiner, S.P., et al., 2003. The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81(3), 676–682.

Grigoletto, L., et al., 2020. Genetic architecture of carcass and meat quality traits in Montana Tropical® Composite beef cattle. *Front. Genet.* 11, 1–14. <https://doi/10.3389/fgene.2020.00123>

Macamba, T.N., et al., 2024. Relationship between volumetric water footprint with carcass and meat quality characteristics under intensive beef cattle production in South Africa. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 19(3), 315–328. <https://doi/10.3844/ajavsp.2024.315.328>

Maffei, W.E., Silva, R.R., Pereira, L.G.R., et al., 2006. Reatividade em ambiente de contenção móvel: uma nova metodologia para avaliar o temperamento bovino. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 58(6), 1123–1131.

Maia, A.S.C., et al., 2023. Economically sustainable shade design for feedlot cattle. *Front. Vet. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1110671>

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15, 401–415.

Menezes, G.R.O., et al., 2018. Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle. In: ICAR Conf. Proc., Auckland, New Zealand, 7–11 Feb. 2018.

Palhares, J.C.P., 2013. Consumo de água na produção animal. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brazil.

Palhares, J.C.P., Pezzopane, J.R.M., 2015. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *J. Clean. Prod.* 93, 299–307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.035>

Palhares, J.C.P., Morelli, M., Novelli, T.I., 2021. Water footprint of a tropical beef cattle production system: The impact of individual-animal and feed management. *Adv. Water Resour.* 149, 103853. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.103853>

Pereira, G.M., et al., 2021. Water requirements of beef production can be reduced by genetic selection. *Anim.* 15(3), 100142. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100142>

Pires, B.V., et al., 2022. Effects of feeding and drinking behavior on performance and carcass traits in beef cattle. *Animals* 12(3196), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ani12223196>

Romanzini, E.P., et al., 2024. Drinking behaviour of beef cattle subject to water medication in various environmental conditions. *Ruminants*. <https://doi.org/10.3390/ruminants4020015>

Santos, G.C.L., et al., 2022. Heat tolerance, thermal equilibrium and environmental management strategies for dairy cows living in intertropical regions. *Front. Vet. Sci.* 9, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.988775>

Santoso, K., et al., 2023. Innovative barn cattle for microclimate management through the misting system. *Bull. Peternak.* 47(4), 207–215. <https://doi:10.21059/buletinpeternak.v47i4.79464>

Schütz, K.E., Huddart, F.J., Cox, N.R., 2019. Manure contamination of drinking water influences dairy cattle water intake and preference. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 217, 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.05.005>

Silva, R.R., et al., 2017. Avaliação de carcaça bovina: uma revisão sobre o uso do ultrassom. *Med. Vet. (UFRPE)* 11(4), 279–284. <https://doi.org/10.26605/medvet-n4-1961>

Souza, C.D.F., et al., 2002. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Ciênc. Agrotec.* 26(1), 157–164.

Souza, C.B., et al., 2024. Estimation of genetic parameters and GWAS on water efficiency traits in the Senepol cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* <https://doi.org/10.1111/jbg.12920>

Trumbo, B.A., Wise, L.M., Hudy, M., 2012. Influence of protective shielding devices on recorded air temperature accuracy for a rugged outdoor thermal sensor used in climate change modeling. *Clim. Change Model.* 3(1), 42–50.

Wagner, J.J., Engle, T.E., 2021. Water consumption and drinking behavior of beef cattle and effects of water quality. *Anim.* 37(4), 418–435. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02136>

Williams, L.R., et al., 2017. Drinking frequency effects on the performance of cattle: a systematic review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 101, 1076–1092. <https://doi.org/10.1111/jpn.12640>

Zanetti, D., et al., 2023. Predição do consumo de água para bovinos de corte. In: *Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados–BR-CORTE*.

<https://brcorte.com.br/assets/book2023/br/14.pdf>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da crescente demanda pela eficiência na utilização de recursos naturais na produção animal, os achados deste estudo reforçam a importância de pesquisar e incorporar métricas como o consumo hídrico residual na seleção de bovinos de corte. A identificação de animais que otimizam o uso da água é fundamental para sistemas pecuários sustentáveis, especialmente em regiões onde a escassez hídrica pode ser um desafio recorrente.

Além disso, o uso de tecnologias de monitoramento eletrônico mostrou-se eficaz na coleta de dados sobre ingestão hídrica e comportamento animal, demonstrando potencial para apoiar decisões de manejo e melhoramento genético baseados em dados objetivos.