

AValiação dos efeitos de um protocolo preventivo de bolus intrarruminal sobre indicadores produtivos, comportamentais, reprodutivos e econômicos de vacas leiteiras

EVALUATION OF THE EFFECTS OF A PREVENTIVE INTRARUMINAL BOLUS PROTOCOL ON PRODUCTIVE, BEHAVIORAL, REPRODUCTIVE, AND ECONOMIC INDICATORS IN DAIRY COWS

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE UN PROTOCOLO PREVENTIVO DE BOLOS INTRARRUMINALES SOBRE INDICADORES PRODUCTIVOS, COMPORTAMENTALES, REPRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS DE VACAS LECHERAS

**Eduarda Rossoni Schmatz¹
Jaqueline Valéria Adamczuk²
Angela Salla Battisti³
Greice Japolla⁴**

RESUMO: O período de transição representa uma fase crítica para vacas leiteiras devido às intensas alterações metabólicas associadas ao parto e ao início da lactação. Este estudo avaliou a influência de um protocolo preventivo de bolus intrarruminal sobre indicadores produtivos, comportamentais, reprodutivos e econômicos. O experimento foi conduzido em uma propriedade comercial do Paraná com 24 vacas Holandesas multíparas, distribuídas em grupos controle e tratados com base no histórico sanitário e reprodutivo informado pelo proprietário. Foram avaliadas produção de leite, ruminação, atividade, ócio, eficiência reprodutiva e retorno sobre o investimento, por meio de Modelos Lineares Mistos, teste de Mann-Whitney e análise de sobrevivência, com significância de 5%. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para produção de leite, comportamento ou eficiência reprodutiva. Entretanto, verificou-se diferença média ajustada de 2,92 L/vaca/dia entre os grupos e interação significativa entre tratamento e tempo para algumas variáveis. A análise econômica estimou benefício líquido potencial de R\$ 8.566,38, relação benefício:custo de 4,97 e ROI potencial de 396,51%. Conclui-se que o protocolo não promoveu melhorias estatisticamente significativas, embora tenha apresentado potencial viabilidade econômica nas condições avaliadas.

Palavras-chave: Período de transição. Suplementação mineral. Bolus intrarruminal. Vacas leiteiras. Retorno sobre investimento.

¹Acadêmica de Medicina Veterinária. Centro Universitário Univel (UNIVEL), Cascavel, Paraná, Brasil.

²Coorientadora. Médica Veterinária.

³Acadêmica de Medicina Veterinária. Centro Universitário Univel (UNIVEL), Cascavel, Paraná, Brasil.

⁴Professora e orientadora. Médica Veterinária, Doutora em Ciência Animal. Centro Universitário Univel (UNIVEL), Cascavel, Paraná, Brasil.

ABSTRACT: The transition period represents a critical phase for dairy cows due to the intense metabolic changes associated with parturition and the onset of lactation. This study evaluated the influence of a preventive intraruminal bolus protocol on productive, behavioral, reproductive, and economic indicators. The experiment was conducted on a commercial dairy farm in the state of Paraná, Brazil, with 24 multiparous Holstein cows allocated to control and treated groups based on the sanitary and reproductive history reported by the farm owner. Milk yield, rumination, activity, resting time, reproductive efficiency, and return on investment were evaluated using Linear Mixed Models, the Mann-Whitney test, and survival analysis, with a significance level of 5%. No statistically significant differences were observed between the groups for milk yield, behavior, or reproductive efficiency. However, an adjusted mean difference of 2.92 L/cow/day was observed between the groups, as well as a significant interaction between treatment and time for some variables. The economic analysis estimated a potential net benefit of R\$ 8,566.38, a benefit-cost ratio of 4.97, and a potential ROI of 396.51%. It was concluded that the protocol did not promote statistically significant improvements, although it showed potential economic viability under the evaluated conditions.

Keywords: Transition period. Mineral supplementation. Intraruminal bolus. Dairy cows. Return on investment.

RESUMEN: El período de transición representa una fase crítica para las vacas lecheras debido a las intensas alteraciones metabólicas asociadas al parto y al inicio de la lactación. Este estudio evaluó la influencia de un protocolo preventivo de bolos intrarruminales sobre indicadores productivos, comportamentales, reproductivos y económicos. El experimento se realizó en una explotación lechera comercial del estado de Paraná, Brasil, con 24 vacas Holstein múltiples, distribuidas en grupos control y tratados con base en los antecedentes sanitarios y reproductivos informados por el propietario. Se evaluaron la producción de leche, la rumia, la actividad, el tiempo de descanso, la eficiencia reproductiva y el retorno sobre la inversión mediante Modelos Lineales Mixtos, la prueba de Mann-Whitney y análisis de supervivencia, con un nivel de significancia del 5%. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para la producción de leche, el comportamiento o la eficiencia reproductiva. Sin embargo, se observó una diferencia media ajustada de 2,92 L/vaca/día entre los grupos, así como una interacción significativa entre tratamiento y tiempo para algunas variables. El análisis económico estimó un beneficio neto potencial de R\$ 8.566,38, una relación beneficio:costo de 4,97 y un ROI potencial de 396,51%. Se concluye que el protocolo no promovió mejoras estadísticamente significativas, aunque mostró una potencial viabilidad económica en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: Período de transición. Suplementación mineral. Bolos intrarruminales. Vacas lecheras. Retorno sobre la inversión.

INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira desempenha um papel fundamental no agronegócio brasileiro, sendo uma atividade amplamente distribuída no território nacional e de grande relevância econômica e social. Ao longo dos anos, o setor passou por importantes transformações, caracterizadas pela intensificação dos sistemas de produção, acompanhada pelo melhoramento genético, avanços no manejo nutricional e sanitário e incorporação de novas tecnologias, o aumento da

produtividade e maior profissionalização da atividade, mesmo diante da redução no número de produtores e estabelecimentos rurais, porém também elevaram as exigências fisiológicas dos animais, tornando o período de transição um dos momentos de maior risco para o desenvolvimento de distúrbios metabólicos e redução da eficiência produtiva. (Ferrazza; Castellani, 2021).

Nesse contexto, o período de transição em vacas leiteiras destaca-se como uma das fases mais críticas do ciclo produtivo, compreendendo aproximadamente as três semanas que antecedem e sucedem o parto. Durante esse intervalo, ocorrem intensas alterações metabólicas, hormonais e imunológicas, associadas ao aumento da demanda energética para o início da lactação e à redução do consumo de matéria seca, favorecendo o estabelecimento do balanço energético negativo. Essas condições aumentam a susceptibilidade dos animais ao desenvolvimento de distúrbios metabólicos, entre os quais se destacam a cetose, a hipocalcemia e a acidose ruminal subaguda, condições de particular relevância durante o período de transição (Tufarelli et al., 2024). Além disso, os desafios metabólicos e endócrinos característicos do periparto podem estar associados à ocorrência de outras enfermidades, como retenção de placenta, metrite e deslocamento de abomaso, com possíveis repercussões sobre o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (Ferreira, 2021).

Dentre as alterações metabólicas observadas durante o período de transição, a hipocalcemia é considerada uma das mais importantes devido ao aumento abrupto da demanda de cálcio para a síntese de colostro e leite. O rápido desvio desse mineral para a glândula mamária exige imediata adaptação dos mecanismos de absorção intestinal, mobilização óssea e reabsorção renal para manutenção da normocalcemia. Alterações nesse processo podem resultar em hipocalcemia clínica ou subclínica, com possíveis repercussões sobre o metabolismo energético, a resposta imune, a função gastrointestinal e a contratilidade muscular dos animais (Santa Catarina et al., 2021; Wilkens et al., 2020).

Diante das repercussões da hipocalcemia e dos demais desafios metabólicos presentes no período de transição, diferentes estratégias nutricionais preventivas têm sido empregadas com o objetivo de favorecer a adaptação fisiológica das vacas ao parto e ao início da lactação. No caso específico da homeostase do cálcio, essas estratégias incluem o manejo mineral da dieta no período pré-parto e a suplementação de cálcio ao redor do parto, especialmente em animais com maior risco de desenvolvimento de hipocalcemia (Wilkens et al., 2020).

Entre as formas de suplementação disponíveis, destaca-se a administração oral de cálcio por meio de bolus, possibilitando o fornecimento do mineral em um momento de elevada

demanda fisiológica. Entretanto, os efeitos dessa intervenção não se mostram uniformes entre os animais. Oetzel e Miller (2012) demonstraram que as respostas à suplementação oral de cálcio podem variar de acordo com características individuais e fatores de risco das vacas. De forma semelhante, Mahjoubi et al. (2023), ao avaliarem diferentes momentos de administração de bolus de cálcio no pós-parto, evidenciaram que a resposta produtiva também pode variar conforme o momento da suplementação.

Além da suplementação de cálcio, protocolos administrados por meio de bolus podem incluir diferentes minerais, vitaminas e nutrientes destinados a fornecer suporte nutricional durante períodos de elevada exigência metabólica. Considerando que o período de transição envolve alterações inter-relacionadas no metabolismo energético e mineral, torna-se relevante avaliar essas estratégias não apenas em relação a um distúrbio específico, mas também quanto aos possíveis reflexos sobre indicadores produtivos, comportamentais e reprodutivos. Entretanto, a variabilidade das respostas relatadas na literatura evidencia a necessidade de estudos realizados em condições comerciais de produção, envolvendo animais com diferentes perfis de risco metabólico e contemplando também a viabilidade econômica dessas intervenções.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de um protocolo preventivo de suplementação administrado por meio de bolus intrarruminais sobre indicadores produtivos, comportamentais e reprodutivos de vacas leiteiras durante o período de transição e início da lactação, bem como estimar sua viabilidade econômica por meio da análise do retorno sobre o investimento (ROI).

MÉTODOS

O presente estudo caracterizou-se como experimental, controlado, longitudinal e não randomizado, com abordagem quantitativa, conduzido com o objetivo de avaliar a influência de um protocolo preventivo de bolus intrarruminal sobre o desempenho produtivo, comportamental, reprodutivo e econômico de vacas leiteiras durante o período de transição.

A distribuição dos animais nos grupos experimentais foi realizada com base no histórico de intercorrências sanitárias e reprodutivas informado pelo proprietário, considerando ocorrências relatadas em lactações anteriores. Essa classificação foi utilizada como critério para a composição dos grupos experimentais e posterior comparação entre vacas submetidas e não submetidas ao protocolo preventivo.

O experimento foi conduzido em uma propriedade leiteira comercial localizada no município de Nova Aurora, estado do Paraná, Brasil, durante o período compreendido entre novembro de 2025 e março de 2026. Para preservar a confidencialidade da propriedade e do produtor rural, sua identificação foi omitida neste estudo. O projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA), sob parecer nº 01/2026, atendendo aos princípios éticos para utilização de animais em pesquisa.

A propriedade possui 150 vacas da raça Holandesa em lactação, manejadas em sistemas de alojamento Compost Barn e Free Stall. Durante todo o período experimental, os animais permaneceram inseridos na rotina normal da fazenda, sem alterações nas práticas de manejo além da adoção do protocolo preventivo de bolus nos grupos tratados.

Inicialmente, foram selecionadas 24 vacas multíparas da raça Holandesa, pertencentes ao rebanho da propriedade. Os animais apresentavam idade média de cinco anos, peso corporal aproximado de 550 kg e média de duas lactações, características que proporcionaram maior homogeneidade entre os grupos experimentais. Após a seleção, as vacas foram distribuídas em quatro grupos experimentais compostos por seis animais cada, sendo denominados Grupo 2 Controle (G2 Controle), Grupo 2 Bolus (G2 Bolus), Grupo 3 Controle (G3 Controle) e Grupo 3 Bolus (G3 Bolus). Quanto ao sistema de alojamento, dos 24 animais inicialmente selecionados, 10 estavam alojados em Compost Barn e 14 em Free Stall. Entre os animais mantidos em Compost Barn, quatro pertenciam ao Grupo 2 e seis ao Grupo 3, enquanto, no sistema Free Stall, oito pertenciam ao Grupo 2 e seis ao Grupo 3.

Durante o desenvolvimento do experimento, ocorreram perdas amostrais. Uma vaca pertencente ao grupo G3 Controle morreu por causa não relacionada ao protocolo experimental e foi excluída das análises. Dessa forma, as avaliações referentes à produção de leite e à eficiência reprodutiva foram conduzidas com 23 animais. Para as análises comportamentais, que incluíram ruminação, atividade e ócio, foram considerados 22 animais, uma vez que uma vaca pertencente ao grupo G3 Bolus não apresentou registros provenientes da coleira eletrônica durante o período experimental, impossibilitando sua inclusão nessas avaliações. Após as perdas amostrais, as análises produtivas e reprodutivas foram realizadas com nove animais alojados em Compost Barn e 14 em Free Stall, enquanto as análises comportamentais incluíram oito animais em Compost Barn e 14 em Free Stall.

Como critérios de inclusão, foram selecionadas vacas multíparas pertencentes ao rebanho da propriedade. Para a composição dos grupos experimentais, os animais foram

previamente classificados de acordo com o histórico de intercorrências sanitárias e reprodutivas informado pelo proprietário, considerando ocorrências relatadas em lactações anteriores.

As vacas incluídas no Grupo 2 (G₂) apresentavam menor histórico de intercorrências, enquanto aquelas incluídas no Grupo 3 (G₃) apresentavam maior histórico de problemas sanitários e/ou reprodutivos relatados pelo proprietário. Essa classificação foi utilizada como critério para a seleção e distribuição dos animais nos grupos experimentais.

Após a classificação dos animais com base no histórico de intercorrências sanitárias e reprodutivas, os animais de cada grupo foram subdivididos em grupo tratado (Bolos) e grupo Controle. Os grupos tratados receberam o protocolo preventivo de bolus de acordo com a categoria experimental previamente estabelecida, enquanto os grupos controle permaneceram submetidos exclusivamente ao manejo rotineiro da propriedade, sem administração dos suplementos avaliados. Essa estratégia permitiu comparar animais tratados e não tratados dentro de cada categoria experimental.

Após a definição dos grupos experimentais, foi instituído o protocolo preventivo de suplementação por meio de bolus administrados por via oral aos animais pertencentes aos grupos tratados. As vacas pertencentes ao Grupo 2 (G₂) receberam uma dose de BOLIFAST® PHYSIOLOGIC aproximadamente 15 dias antes da data prevista para o parto, seguida pela administração de uma dose de Boliflash® Calcium+ imediatamente após o parto e de uma dose de BOLIFLASH® VITAMINS aos 30 dias pós-parto. Para as vacas pertencentes ao Grupo 3 (G₃), o protocolo consistiu na administração de uma dose de BOLIFAST® PHYSIOLOGIC aproximadamente 15 dias antes do parto, seguida pela administração concomitante de uma dose de Boliflash® Calcium+ e uma dose de BOLIFAST® RUMEN imediatamente após o parto e, posteriormente, de uma dose de BOLIFLASH® VITAMINS aos 30 dias pós-parto. Os animais pertencentes aos grupos controle não receberam os suplementos avaliados durante o período experimental, permanecendo sob o manejo rotineiro adotado pela propriedade. Todos os produtos foram administrados por via oral, utilizando aplicador específico para bolus, de acordo com o protocolo experimental estabelecido.

O BOLIFAST® PHYSIOLOGIC, suplemento mineral para bovinos indicado para vacas leiteiras no período pré-parto, foi administrado em uma dose composta por um bolus efervescente e um bolus de liberação controlada. Entre seus principais componentes encontram-se DL-metionina, nas concentrações de 100.000 mg/kg no bolus efervescente e 110.000 mg/kg no bolus de liberação controlada, e cloreto de colina, na concentração de 50.000 mg/kg em ambos

os bolus. O produto é fabricado por HY-NUTRITION, em Dinard, França, importado por JPB Indústria Química Ltda., e cadastrado no MAPA sob o nº RS 003287-5.000003C.

O BOLIFAST® RUMEN, suplemento mineral para bovinos, foi administrado em uma dose composta por um bolus efervescente e um bolus de liberação controlada. O produto contém niacina (79.000 e 195.000 mg/kg), betaína (3.900 e 4.200 mg/kg), cloreto de colina (24.000 mg/kg em ambos) e DL-metionina (30.000 mg/kg em ambos), respectivamente, nos bolus efervescente e de liberação controlada. O produto é fabricado por HY-NUTRITION, em Dinard, França, importado por JPB Indústria Química Ltda., e cadastrado no MAPA sob o nº RS 003287-5.000008C.

O BOLIFLASH® VITAMINS, suplemento mineral para bovinos, foi administrado em dose constituída por um único bolus efervescente. Sua composição inclui selênio (48 mg/kg), vitamina A (2.100.000 UI/kg), vitamina B2 (82 mg/kg), ácido fólico (61 mg/kg), cloreto de colina (43.200 mg/kg), vitamina D3 (400.000 UI/kg) e vitamina E (6.800 mg/kg). O produto é fabricado por HY-NUTRITION, em Dinard, França, importado por JPB Indústria Química Ltda., e cadastrado no MAPA sob o nº RS 003287-5.000002C.

O Boliflash® Calcium+, alimento mineral dietético para vacas leiteiras, foi administrado em dose única imediatamente após o parto. Cada dose foi composta pela administração conjunta de um bolus efervescente de 95 g e um bolus de liberação controlada de 95 g, fornecendo aproximadamente 48 g de cálcio. O bolus efervescente contém cloreto de cálcio (45%), carbonato de cálcio (17,6%), fosfato de cálcio monobásico (15%), fosfato bicálcico (5%), fosfato de magnésio e quelato de cálcio (lisina; 1,8%), enquanto o bolus de liberação controlada contém cloreto de cálcio (50%), carbonato de cálcio (17%), fosfato de cálcio monobásico (15%), fosfato bicálcico (5%) e fosfato de magnésio. O produto também contém vitamina D3 e é distribuído por BIO ARMOR Développement – Groupe Kersia, França. Conforme a ficha técnica do fabricante, o produto encontra-se em conformidade com o Regulamento (CE) nº 767/2009, relativo à colocação no mercado e utilização de alimentos para animais, e com a Diretiva 2002/32/CE, referente a substâncias indesejáveis nos alimentos para animais. O estabelecimento produtor, identificado como αFR 22 171 012, possui certificações FCA (Feed Chain Alliance) e OQUALIM STNO e é indicado para cadeias de alimentação sem organismos geneticamente modificados, com teor inferior a 0,9%.

Durante todo o período experimental, os animais permaneceram submetidos às condições de manejo adotadas pela propriedade, diferindo entre os grupos quanto à utilização do protocolo preventivo de bolus. As vacas foram mantidas nos sistemas Compost Barn e Free

Stall, com livre acesso à água e alimentação durante todo o experimento. A dieta foi formulada para atender às exigências nutricionais das vacas em lactação, sendo composta por volumosos e concentrados fornecidos conforme o manejo nutricional estabelecido pela fazenda. Os manejos sanitário, reprodutivo, nutricional e de ordenha permaneceram inseridos na rotina da propriedade e foram semelhantes entre os grupos durante o período experimental. O acompanhamento dos animais ocorreu desde aproximadamente 15 dias antes do parto até o encerramento do período experimental, abrangendo a fase de transição e os primeiros meses de lactação.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir dos registros zootécnicos e reprodutivos rotineiramente realizados pela propriedade durante o período experimental. Posteriormente, essas informações foram extraídas do banco de dados da fazenda pelos pesquisadores, sem qualquer interferência na rotina de manejo dos animais, preservando as condições naturais de produção do rebanho. Essa estratégia permitiu a obtenção de informações representativas da realidade produtiva da propriedade, conferindo maior aplicabilidade prática aos resultados obtidos.

A produção de leite constituiu a principal variável produtiva analisada, sendo obtida por meio do controle leiteiro rotineiramente realizado na propriedade. Os valores foram registrados em litros por vaca por dia (L/vaca/dia), sendo considerados, para fins de análise estatística, os registros compreendidos entre dezembro de 2025 e março de 2026. Essa variável foi utilizada para avaliar a influência do protocolo preventivo sobre o desempenho produtivo das vacas durante o período de transição e início da lactação.

As variáveis comportamentais avaliadas compreenderam o tempo de ruminação, o tempo de ócio e a atividade dos animais. Essas informações foram obtidas por meio de coleiras eletrônicas de monitoramento Cowmed®, capazes de registrar automaticamente o comportamento dos animais em intervalos horários ao longo de todo o período experimental. Posteriormente, os registros diários foram organizados para obtenção das médias mensais utilizadas nas análises estatísticas. O tempo de ruminação e o tempo de ócio foram expressos em minutos por dia, enquanto a atividade foi representada pelo índice fornecido pelo próprio sistema eletrônico de monitoramento.

A eficiência reprodutiva foi avaliada a partir das fichas reprodutivas da propriedade, considerando-se duas variáveis principais: o número de inseminações artificiais necessárias até a confirmação da prenhez e o intervalo, expresso em dias, entre o parto e a confirmação da

prenhez. Esses indicadores permitiram avaliar possíveis reflexos do protocolo preventivo sobre o desempenho reprodutivo das vacas durante o período pós-parto.

Além das variáveis produtivas, comportamentais e reprodutivas, foi realizada uma avaliação econômica do protocolo preventivo de bolus, visando determinar sua viabilidade financeira sob condições comerciais de produção leiteira. Para essa finalidade, foram analisados os indicadores de receita adicional, benefício líquido, relação custo benefício, ponto de equilíbrio econômico (break-even) e retorno sobre o investimento (ROI), calculados a partir da diferença de produção de leite observada entre os grupos experimentais e dos custos relacionados à utilização do protocolo preventivo. Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou uma avaliação integrada dos efeitos da tecnologia, contemplando simultaneamente os aspectos produtivos, comportamentais, reprodutivos e econômicos do sistema de produção.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Python, por meio das bibliotecas pandas, SciPy e statsmodels, considerando-se a vaca como unidade experimental em todas as análises. Inicialmente, a distribuição dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Levene. As variáveis que apresentaram distribuição normal foram expressas como média $\pm$ desvio-padrão, ao passo que aquelas com distribuição não normal foram apresentadas na forma de mediana e intervalo interquartil.

As variáveis produtivas e comportamentais, compreendendo produção de leite, ruminação, atividade e ócio, foram obtidas em avaliações repetidas ao longo do período experimental. Em razão dessa estrutura longitudinal dos dados, empregaram-se Modelos Lineares Mistos (*Linear Mixed Models*), considerando como efeitos fixos o tratamento (uso ou não do protocolo preventivo de bolus), o sistema de alojamento (Compost Barn ou Free Stall), o tempo (mês de avaliação) e as interações entre esses fatores. O animal foi incluído como efeito aleatório, permitindo considerar a dependência existente entre as observações sucessivas obtidas do mesmo indivíduo ao longo do experimento. A classificação dos animais em G2 e G3 foi utilizada como critério para a composição e distribuição dos grupos experimentais, não sendo considerada como fator independente no modelo estatístico. A significância dos efeitos fixos foi determinada por meio de testes de Wald, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Sempre que pertinente, foram estimados intervalos de confiança de 95% (IC95%) para os parâmetros dos modelos ajustados.

A eficiência reprodutiva foi avaliada por diferentes abordagens estatísticas de acordo com a natureza de cada variável. O número de inseminações artificiais necessárias até a

confirmação da prenhez foi comparado entre os grupos por meio do teste não paramétrico de Mann-Whitney, sendo o tamanho do efeito estimado pelo Delta de Cliff. O intervalo entre o parto e a confirmação da prenhez foi analisado por meio de análise de sobrevivência, utilizando curvas de Kaplan-Meier, com comparação entre os grupos pelo teste de Log-rank. Os animais que não apresentaram prenhez até o encerramento da coleta de dados foram considerados censurados, sendo adotada como data limite o dia 27 de maio de 2026.

Durante o processamento dos dados, os animais que vieram a óbito por causas não relacionadas ao protocolo experimental foram excluídos das análises. Os registros comportamentais indisponíveis em decorrência da ausência de informações provenientes das coleiras eletrônicas foram tratados como valores ausentes, não sendo realizada imputação de dados, de modo a preservar a confiabilidade das análises estatísticas.

A análise econômica foi conduzida com a finalidade de estimar a viabilidade financeira da utilização do protocolo preventivo de bolus em vacas leiteiras durante o período de transição. Para essa avaliação, foram considerados exclusivamente os animais pertencentes aos grupos G2 e G3 incluídos nas análises produtivas. A receita adicional foi estimada a partir da diferença média ajustada na produção diária de leite entre os grupos tratados e controle, obtida pelo modelo linear misto, multiplicada pelo número de dias avaliados, pelo número de animais tratados e pelo preço médio do leite pago ao produtor. Para os cálculos econômicos, adotou-se o valor de R\$ 2,53 por litro de leite, correspondente ao preço de referência divulgado pelo Conseleite Paraná para o leite entregue em junho de 2026, com pagamento em julho de 2026. (CONSELEITE-PARANÁ, 2026).

O custo total do protocolo foi determinado considerando o preço unitário de cada bolus utilizado, multiplicado pelo número de animais tratados. A partir desses valores, foi calculado o benefício líquido, definido como a diferença entre a receita adicional estimada a partir da diferença de produção de leite e o custo total do protocolo preventivo. Posteriormente, foi determinado o retorno sobre o investimento (ROI), expresso em porcentagem e calculado pela razão entre o benefício líquido e o custo total do protocolo. Adicionalmente, foram estimadas a relação benefício:custo, obtida pela razão entre a receita adicional estimada e o custo total do protocolo, e o ponto de equilíbrio econômico (*break-even*), definido como a produção mínima adicional de leite necessária para compensar integralmente o investimento realizado com a utilização dos bolus.

A interpretação dos indicadores econômicos foi realizada de forma integrada aos resultados produtivos obtidos pelos modelos lineares mistos, considerando-se também os

respectivos intervalos de confiança de 95%. Dessa forma, os resultados econômicos foram interpretados como estimativas de potencial retorno financeiro, uma vez que a diferença média ajustada de produção de leite utilizada nos cálculos não apresentou significância estatística. Assim, os valores de receita adicional, benefício líquido, relação benefício:custo e ROI devem ser considerados estimativas baseadas na diferença produtiva observada entre os grupos, e não como efeitos econômicos comprovadamente atribuíveis ao protocolo preventivo de bolus.

RESULTADOS

Não foi observado efeito significativo do protocolo preventivo de bolus sobre a produção média de leite ao longo do período experimental ($p = 0,178$). Embora tenha sido observada diferença média ajustada de aproximadamente 2,92 L/vaca/dia entre os grupos, essa diferença não foi estatisticamente significativa ao nível de 5%.

Foi identificada interação significativa entre o tratamento e o mês de avaliação ($p = 0,025$), indicando variação do efeito do protocolo ao longo do período experimental. A maior diferença entre os grupos foi observada no mês de janeiro. Entretanto, após a correção para comparações múltiplas, as diferenças entre os meses não permaneceram estatisticamente significativas de forma isolada. Os resultados da produção de leite encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Efeito do protocolo preventivo de bolus sobre a produção de leite de vacas leiteiras.

Variável	Diferença ajustada Bolus – Controle	IC95%	p
Produção de leite	+2,92 L/vaca/dia	-1,36 a 7,32 L/vaca/dia	0,178
Efeito			
Tratamento			0,178
Mês			0,188
Tratamento × mês			0,025

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Para a variável ruminação, não foi observado efeito significativo do protocolo preventivo de bolus (Wald $\chi^2 = 0,599$; $p = 0,439$). Foram observados efeitos significativos do sistema de alojamento ($p = 0,0037$) e do tempo ($p = 0,0160$), além de interação significativa entre tratamento e tempo ($p = 0,0007$) e entre sistema de alojamento e tempo ($p = 0,0053$).

Na variável atividade, o protocolo preventivo de bolus não apresentou efeito significativo (Wald $\chi^2 = 0,236$; $p = 0,627$), assim como não foram observados efeitos principais do tempo e do sistema de alojamento ($p > 0,05$). Entretanto, foi identificada interação significativa entre sistema de alojamento e tempo (Wald $\chi^2 = 12,387$; $p = 0,0062$).

Para a variável ócio, também não foi observado efeito significativo do tratamento (Wald $\chi^2 = 0,486$; $p = 0,486$). Contudo, verificaram-se interações significativas entre tratamento e tempo ($p = 0,0204$) e entre sistema de alojamento e tempo ($p = 0,0012$). Os resultados referentes às variáveis comportamentais encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias observadas das variáveis comportamentais de vacas leiteiras dos grupos Controle e Bolus.

Variável	Controle	Bolus	Wald χ^2 tratamento	p tratamento
Ruminação (min/dia)	481,66	485,67	0,599	0,439
Atividade (índice)	287,18	295,79	0,236	0,627
Ócio (min/dia)	470,35	456,67	0,486	0,486

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

As vacas submetidas ao protocolo preventivo apresentaram mediana de 1,5 inseminações artificiais (IIQ: 1,0–3,0), enquanto o grupo controle apresentou mediana de 2,0 inseminações artificiais (IIQ: 1,5–2,0). Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($U = 57,5$; $p = 0,605$), sendo o tamanho do efeito considerado pequeno ($\delta = -0,129$).

A análise do intervalo entre o parto e a confirmação da prenhez também não evidenciou diferença significativa entre os grupos (Log-rank $\chi^2 = 0,074$; $p = 0,786$). Os resultados da eficiência reprodutiva encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Indicadores de eficiência reprodutiva das vacas pertencentes aos grupos Controle e Bolus.

Variável	Controle	Bolus	Estatística	p
Número de IA até a prenhez, mediana (IIQ)	2,0 (1,5–2,0)	1,5 (1,0–3,0)	$U = 57,5$	0,6052
Tempo até a prenhez ou censura (dias)	147,5	148,5	$\chi^2 = 0,0738$	0,7859

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

O investimento total no protocolo preventivo de bolus foi de R\$ 2.160,42, correspondente ao tratamento de 12 vacas dos grupos G2 e G3. Considerando a diferença média ajustada de 2,92

L/vaca/dia entre os grupos durante o período experimental de 121 dias, estimou-se produção adicional potencial de 353,32 litros por vaca, totalizando 4.239,84 litros para o grupo tratado.

Utilizando o preço de referência do leite de R\$ 2,53/L, estimou-se receita adicional de R\$ 10.726,80 (dez mil setecentos e vinte e seis reais e oitenta centavos). Após a dedução do investimento realizado, foi obtido benefício líquido de R\$ 8.566,38, correspondente à relação custo benefício de 4,97 e retorno sobre o investimento (ROI) de 396,51%. Os resultados da análise econômica encontram-se apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Avaliação econômica do protocolo preventivo de bolus em vacas leiteiras.

Indicador	Valor
Vacas tratadas	12
Custo total do protocolo	R\$ 2.160,42
Produção adicional estimada	4.239,84 L
Receita adicional estimada	R\$ 10.726,80
Benefício líquido	R\$ 8.566,38
Relação benefício:custo	4,97
ROI	396,51%

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

DISCUSSÃO

No presente estudo, o protocolo preventivo de bolus não promoveu efeito estatisticamente significativo sobre a produção média de leite durante o período experimental. Entretanto, o modelo linear misto estimou diferença média ajustada de aproximadamente 2,92 L/vaca/dia entre os grupos e identificou interação significativa entre tratamento e mês de avaliação, indicando que a resposta ao protocolo variou ao longo da lactação.

Esses resultados são semelhantes aos de Mahjoubi *et al.* (2023), que também não observaram diferenças significativas na produção de leite entre vacas tratadas e controle durante os primeiros controles leiteiros. Da mesma forma, Oetzel e Miller (2012) relataram que os benefícios da suplementação com bolus de cálcio foram mais evidentes em subgrupos específicos de vacas, sugerindo que a resposta ao tratamento depende das características dos animais e das condições de manejo.

A revisão de Durmuş *et al.* (2025) reforça essa interpretação ao destacar que a eficácia dos bolus ruminais é influenciada pelo estado fisiológico, estágio da lactação e condição metabólica dos animais, não sendo esperada uma resposta uniforme entre diferentes rebanhos.

Embora o incremento médio observado apresente potencial interesse biológico e econômico, o intervalo de confiança obtido pelo modelo indica elevada variabilidade entre os animais avaliados. Assim, os resultados sugerem um possível benefício do protocolo preventivo, porém estudos com maior tamanho amostral são necessários para confirmar esse efeito.

O protocolo preventivo de bolus não promoveu efeito significativo sobre os indicadores de ruminação, atividade e ócio. Em contrapartida, foram observados efeitos do tempo e do sistema de alojamento, indicando que a dinâmica comportamental das vacas variou ao longo do período experimental e esteve associada às condições de alojamento e ao tempo de avaliação.

Esses resultados estão de acordo com Durmuş *et al.* (2025), que descrevem o período de transição como uma fase de intensas alterações metabólicas e fisiológicas, nas quais fatores relacionados ao ambiente e ao manejo podem exercer maior influência sobre o comportamento dos animais do que intervenções nutricionais isoladas.

Além disso, Tôrres (2026) destaca que o monitoramento comportamental por sensores eletrônicos permite identificar variações individuais de ruminação, atividade e ócio, evidenciando que esses indicadores sofrem influência de fatores fisiológicos e ambientais. Dessa forma, a ausência de diferenças significativas entre os grupos não reduz a importância do monitoramento por colares, mas reforça sua utilidade como ferramenta complementar para o acompanhamento da saúde e do manejo de vacas leiteiras.

No presente estudo, não foram observadas diferenças significativas no número de inseminações artificiais necessárias para a prenhez nem no tempo até a confirmação da gestação. Embora as vacas tratadas tenham apresentado tendência a menor número de inseminações e menor tempo para engravidar, essas diferenças não foram estatisticamente significativas.

Esses resultados são semelhantes aos descritos por Mahjoubi *et al.* (2023), que também não observaram diferenças significativas nos índices reprodutivos entre vacas tratadas e controle, ressaltando que o tamanho amostral pode limitar a detecção de efeitos sobre variáveis reprodutivas.

A ausência de efeito significativo pode estar relacionada à natureza multifatorial da eficiência reprodutiva, que depende não apenas do estado nutricional, mas também do manejo, da condição sanitária, da fertilidade individual e de fatores ambientais. Dessa forma, embora o

protocolo preventivo tenha potencial para contribuir com a saúde das vacas durante o período de transição, os resultados deste estudo indicam que sua utilização, isoladamente, não foi suficiente para promover melhorias significativas no desempenho reprodutivo.

Apesar da ausência de diferença estatisticamente significativa na produção de leite, a análise econômica indicou retorno financeiro potencialmente positivo para o protocolo preventivo de bolus, considerando a diferença média ajustada estimada pelo modelo estatístico. Sob essas premissas, estimou-se ROI potencial de 396,51%, indicando possível viabilidade econômica nas condições avaliadas.

Entretanto, esse resultado deve ser interpretado com cautela, uma vez que a estimativa econômica foi baseada no efeito médio ajustado da produção de leite, cuja estimativa apresentou elevada variabilidade entre os animais. Assim, embora o protocolo tenha demonstrado potencial para gerar retorno financeiro, novos estudos com maior número de animais são necessários para confirmar a consistência desse benefício.

Essa interpretação está de acordo com Peixoto *et al.* (2005), que destacam que a utilização racional de estratégias de suplementação mineral deve considerar não apenas seus efeitos biológicos, mas também sua viabilidade econômica dentro do sistema de produção.

CONCLUSÃO

15

Nas condições deste estudo, o protocolo preventivo de bolus não promoveu diferenças estatisticamente significativas na produção de leite, nos indicadores comportamentais ou na eficiência reprodutiva. Embora a diferença média ajustada na produção de leite tenha indicado potencial retorno econômico, essa estimativa deve ser interpretada com cautela devido à ausência de significância estatística e à amplitude do intervalo de confiança. Estudos com maior tamanho amostral e maior período de acompanhamento são necessários para confirmar os possíveis efeitos produtivos e econômicos do protocolo.

REFERÊNCIAS

CONSELHO PARITÁRIO PRODUTORES/INDÚSTRIAS DE LEITE DO ESTADO DO PARANÁ (CONSELEITE-PR). Resolução nº 06/2026. Curitiba: Conseleite-Paraná, 2026. https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2026-06/resolucao-conseleite-parana-06-2026.pdf.

DURMUŞ M, et al. Utilization of rumen boluses in nutritional and health management of ruminants. *Agricultural and Food Technologies*, 2025; 3(1): 212-230. DOI: 10.65888/icraft.3.1.19.

FERRAZZA RA, CASTELLANI E. Análise das transformações da pecuária brasileira: um enfoque na pecuária leiteira. *Ciência Animal Brasileira*, 2021; 22: e68940. DOI: 10.1590/1809-6891v22e-68940.

FERREIRA RBB. Influência da administração de Delibol® e Metrabol® no pós-parto na prevalência de doenças do puerpério e involução uterina em vacas de leite. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária) – Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, 2021. <http://hdl.handle.net/10174/29767>

MAHJOUBI E, et al. A randomized field trial assessing the timing of postpartum calcium bolus administration on milk yield of multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 2023; 106(10): 7320-7328. DOI: 10.3168/jds.2022-22671.

OETZEL GR, MILLER BE. Effect of oral calcium bolus supplementation on early-lactation health and milk yield in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 2012; 95(12): 7051-7065. DOI: 10.3168/jds.2012-5510.

PEIXOTO PV, et al. Princípios de suplementação mineral em ruminantes. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 2005; 25(3): 195-200. DOI: 10.1590/S0100-736X2005000300011.

SANTA CATARINA A, et al. Influência da hipocalcemia sobre o metabolismo energético e resposta imune inata de vacas leiteiras no período de transição. *Revista Agrária Acadêmica*, 2021; 4(1): 69-76. DOI: 10.32406/v4n12021/69-76/agrariacad.

TÔRRES MRS. Desenvolvimento e avaliação funcional de um acelerômetro do tipo pedômetro para monitoramento comportamental de vacas leiteiras. Dissertação (Mestrado em Anatomia dos Animais Domésticos e Silvestres) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2026. DOI: 10.11606/D.10.2026.tde-01062026-171100.

TUFARELLI V, et al. The most important metabolic diseases in dairy cattle during the transition period. *Animals*, 2024; 14(5): 816. DOI: 10.3390/ani14050816.

WILKENS MR, et al. Symposium review: Transition cow calcium homeostasis—Health effects of hypocalcemia and strategies for prevention. *Journal of Dairy Science*, 2020; 103(3): 2909-2927. DOI: 10.3168/jds.2019-17268.