



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ACRE

**CAMPUS SENA MADUREIRA
CURSO BACHARELADO EM ZOOTECNIA**

MAIARA FREITAS GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS SUBJETIVOS E
COMPUTADORIZADOS NA AVALIAÇÃO DO SÊMEN CONGELADO DE TOUROS
UTILIZADOS COMERCIALMENTE NA REGIÃO AMAZÔNICA.**

SENA MADUREIRA - ACRE

2026

MAIARA FREITAS GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS SUBJETIVOS E
COMPUTADORIZADOS NA AVALIAÇÃO DO SÊMEN CONGELADO DE TOUROS
UTILIZADOS COMERCIALMENTE NA REGIÃO AMAZÔNICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado,
como parte das exigências para a conclusão do
Curso de Graduação de Bacharelado em
Zootecnia do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Acre – Campus Sena
Madureira.

Orientadora: Dra. Laine Oliveira da Silva

Coorientadora: Hélen Soares Vítório

SENA MADUREIRA - ACRE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

G633a Gomes, Maiara Freitas.

Análise comparativa entre métodos subjetivos e computadorizados na avaliação do sêmen congelado de touros utilizados comercialmente na região amazônica / Maiara Freitas Gomes – Sena Madureira - AC, 2026.

38 p. : il. ; 30 cm.

Monografia – Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal do Acre, 2026.

Orientadora - Profa. Dra. Laiane Oliveira da Silva.

Coorientação – Profa. Hélien Soares Vítório.

1. Andrológico. 2. Espermatozoides. 3. Mace. 4. Motilidade. I. Título. II. Silva, Laiane de Oliveira da. III. Vítório, Hélien Soares.

CDD 636.089

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS SUBJETIVOS E
COMPUTADORIZADOS NA AVALIAÇÃO DO SÊMEN CONGELADO DE
TOUROS UTILIZADOS COMERCIALMENTE NA REGIÃO AMAZÔNICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso deferido e aprovado em 06/07/2026 pela Comissão
Examinadora:

Orientadora:

Documento assinado digitalmente
 **LAINE OLIVEIRA DA SILVA**
Data: 13/08/2026 22:04:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra. Laine Oliveira da Silva
Instituto Federal do Acre - Campus Sena Madureira

Avaliadores(as):

Documento assinado digitalmente
 **CLEICIONE MOURA DE OLIVEIRA**
Data: 14/08/2026 13:57:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestra Cleicione Moura de Oliveira
Universidade Federal do Acre - Campus Rio Branco

Documento assinado digitalmente
 **DAYANA ALVES DA COSTA LUCAS**
Data: 17/08/2026 12:40:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a. Dra. Dayana Alves da Costa
Instituto Federal do Acre - Campus Sena Madureira

SENA MADUREIRA - AC

2026

Pois tudo é dele, por ele e para ele. A ele seja
dada a glória para sempre! Amém.

(Romanos 11:36)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pois sem ele nada disso seria possível, foi ele quem me manteve firme mesmo nos dias em que pensei não conseguir continuar. A minha família em especial ao meu pai Ronaleudo Sena Gomes, que mesmo não acompanhando minha rotina diariamente, sempre me fortaleceu por meio de suas orações e palavras de apoio em cada etapa dessa caminhada. Tudo isso também é por você, que sempre foi meu maior motivo para lutar e seguir em frente todos os dias.

A minha “mãedrastra”, que com muito amor e carinho me criou e educou com toda paciência, obrigada por me ensinar a ser essa mulher que sou hoje, por me ensinar ser uma boa filha e me ensinar o amor de forma mais pura.

Aos meus colegas Adriele Matos, Adriane Matos e Lainy Fraga agradeço por toda parceria, incentivo e apoio nos momentos em que pensei desanimar. À minha irmã Marina, deixo minha gratidão por todo acolhimento, carinho e presença durante a fase dessa pesquisa, obrigada por estar ao meu lado sempre. Ao meu companheiro Romário Azevedo, por me motivar e me incentivar a escrever, obrigada por tornar esse fardo mais leve todos os dias.

Expresso minha imensa gratidão a minha orientadora, Laine Silva Flores, pela paciência, dedicação e persistência. Jamais esquecerei a forma como me acolheu quando eu estava perdida e insegura sobre os caminhos da pesquisa, guiando-me com sensibilidade e confiança. A senhora me fez enxergar minha capacidade de chegar até aqui. Carrego comigo, de forma muito especial, uma de suas mensagens de incentivo: “Procure avançar um pouco a cada dia, mesmo em pequenas etapas”. Em um dos momentos mais difíceis dessa trajetória, essas palavras me ajudaram a continuar, obrigada por ter sido mais do que uma orientadora, sendo também uma amiga. À minha coorientadora, Helen Vitória, por toda paciência, parceria e dedicação ao me ensinar cada etapa desta pesquisa com tanto cuidado e atenção. Ao Dr. Raphael Augusto Satrapa, expresso minha sincera gratidão por todo auxílio prestado na leitura e utilização do equipamento durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia do Acre-Campus Sena Madureira, deixo meu profundo agradecimento por todos os anos de aprendizado e crescimento pessoal e profissional. Tenho orgulho de ter construído minha trajetória nesta instituição, que foi minha casa durante cinco anos. Agradeço também a todos os docentes em que me espelho todos os dias e cada funcionário que, de alguma forma, contribuíram para minha formação e para pessoa que me tornei. Cada um teve participação importante nesta caminhada, e levarei comigo essa gratidão por toda vida.

RESUMO

A avaliação da qualidade seminal é uma ferramenta fundamental para determinação do potencial reprodutivo de touros, sendo amplamente utilizada em programas de melhoramento genético e reprodução assistida. Tradicionalmente, essa avaliação é realizada por métodos subjetivos, os quais dependem da experiência do avaliador e podem apresentar elevada variabilidade nos resultados. Nesse contexto, sistemas computadorizados de análise seminal, como o *Microscopic Automated Computer Evaluation* (MACE), surgem como alternativas mais objetivas e padronizadas. O presente estudo foi realizado no laboratório de reprodução da Universidade Federal do Acre-UFAC e teve como objetivo comparar a avaliação espermática de touros obtida por métodos subjetivos tradicionais com a avaliação realizada pelo sistema MACE. Foram analisadas 20 amostras de sêmen congelado de touros das raças Nelore, Angus e Sindi, avaliando-se motilidade, vigor, concentração espermática e patologias. Os dados foram submetidos à análise descritiva e ao teste não paramétrico de Wilcoxon ($p < 0,05$). Foram observadas diferenças significativas para motilidade, concentração espermática e porcentagem de patologias. O sistema MACE apresentou valores superiores para motilidade com 60,2% e patologias espermáticas 20,12%, enquanto o método subjetivo apresentou maior concentração espermática $221,75 \times 10^6$ espermatozoides/mL. Para o vigor não foram observadas diferenças significativas entre os métodos. Os resultados demonstraram que o método subjetivo pode superestimar ou subestimar determinados parâmetros seminais quando comparado ao sistema computadorizado. Conclui-se que o MACE apresenta maior sensibilidade, objetividade e padronização na avaliação seminal bovina, constituindo uma ferramenta promissora para aumentar a confiabilidade dos exames andrológicos e auxiliar na seleção de reprodutores.

Palavras-chave: Andrológico, Espermatozoides, Mace, Motilidade.

ABSTRACT

Semen quality assessment is a fundamental tool for determining the reproductive potential of bulls and is widely used in genetic improvement and assisted reproduction programs. Traditionally, this assessment is performed using subjective methods, which depend on the evaluator's experience and may present high variability in the results. In this context, computerized semen analysis systems, such as Microscopic Automated Computer Evaluation (MACE), have emerged as more objective and standardized alternatives. This study was conducted at the Animal Reproduction Laboratory of the Federal University of Acre (UFAC) and aimed to compare bull sperm evaluation obtained through traditional subjective methods with that performed using the MACE system. Twenty frozen semen samples from Nelore, Angus, and Sindi bulls were analyzed for sperm motility, vigor, concentration, and morphological abnormalities. Data were subjected to descriptive analysis and the non-parametric Wilcoxon test ($p < 0.05$). Significant differences were observed for motility, sperm concentration, and percentage of sperm abnormalities. The MACE system presented higher values for motility (60.2%) and sperm abnormalities (20.12%), whereas the subjective method showed higher sperm concentration (221.75×10^6 spermatozoa/mL). No significant differences were observed for sperm vigor between the methods. The results demonstrated that subjective evaluation may overestimate or underestimate certain seminal parameters when compared with computerized analysis. It was concluded that MACE provides greater sensitivity, objectivity, and standardization in bovine semen evaluation, representing a promising tool to improve the reliability of breeding soundness examinations and assist in the selection of breeding bulls.

Keywords: Andrological examination, Spermatozoa, Mace, Motility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Amostras de sêmen classificadas de 1 a 10.....	22
Figura 2: Amostras de sêmen classificadas de 11 a 20.....	23
Figura 3: Materiais para a análise sobre a mesa aquecedora.....	23
Figura 4: Lâmina de vigor espermático.....	24
Figura 5: Câmara de Neubauer para análise de concentração.....	25
Figura 6: Lâminas sendo coradas em solução panotica.....	26
Figura 7: Contagem e análise de patologias.....	27
Figura 8: Aparelho utilizado na leitura computadorizada.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

ABMVZ- Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia

CBRA- Colégio Brasileiro de Reprodução Animal

MACE- Microscopic Automated Sperm Analysis

LIN- Linearidade

UFAC- Universidade Federal do Acre

CV- Coeficiente de Variação

ML- Mililitro

μL- Microlitro

DP- Desvio Padrão

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva dos parâmetros seminais avaliados em sêmen bovino congelado por método subjetivo e computadorizado (MACE).....32

Tabela 2: Comparação entre médias dos parâmetros seminais avaliados em sêmen bovino congelado por método subjetivo e computadorizado (MACE).....33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	REPRODUÇÃO BOVINA: FISIOLOGIA E IMPORTANCIA DO SÊMEN NA FERTILIDADE.....	12
2.2	MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO ESPERMÁTICA.....	15
2.3	ANDROLÓGICO	16
2.4	LIMITAÇÕES E VARIABILIDADE ENTRE AVALIADORES.....	18
2.5	TECNOLOGIAS DE AVALIAÇÃO COMPUTADORIZADA.....	20
3	OBJETIVOS	24
3.1	OBJETIVO GERAL	24
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
7	CONCLUSÕES.....	34
8	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A reprodução bovina é um dos pilares da pecuária de corte e de leite no Brasil, sendo determinante para o avanço genético e para a eficiência produtiva dos rebanhos (Azevedo *et al.*, 2024). A bovinocultura constitui uma das principais atividades econômicas do Acre, desempenhando papel estratégico na geração de renda, na ocupação das áreas rurais e no desenvolvimento do agronegócio estadual (Andrade *et al.*, 2024). Nos últimos anos, a modernização da pecuária acreana tem sido impulsionada pela adoção de tecnologias voltadas ao melhoramento genético, ao manejo sanitário e à eficiência reprodutiva dos rebanhos, fatores considerados essenciais para o aumento da produtividade (Fernandes *et al.*, 2024).

Dentro desse contexto, a avaliação espermática de touros integra o exame andrológico, que fornece informações sobre a qualidade seminal sobre o potencial reprodutivo dos machos destinados a monta natural e, a programas de inseminação artificial (Bastan *et al.*, 2024). Nesse cenário, a avaliação reprodutiva de touros assume papel fundamental, uma vez que a eficiência dos reprodutores influencia diretamente os índices de fertilidade, o ganho genético e o desempenho produtivo dos sistemas de criação bovina no estado (Fernandes *et al.*, 2024).

Tradicionalmente, a avaliação espermática é realizada por métodos predominantemente subjetivos, nos quais a interpretação de parâmetros como motilidade e vigor depende da experiência do avaliador e das condições de leitura (Del Prete *et al.*, 2022). Apesar de serem amplamente empregados devido à sua simplicidade e baixo custo, esses métodos apresentam limitações relevantes, em especial a variabilidade intra-observador e inter-observador, o que compromete a reprodutibilidade dos resultados e a confiabilidade do diagnóstico reprodutivo (Seranholi *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2021).

Com avanço das tecnologias digitais, sistemas automatizados de análises espermática, como o Computer- Assisted Sperm Analysis (CASA) e o sistema MACE (Microscopic Automated Computer Evaluation) têm ganhado destaque na medicina veterinária reprodutiva. Essas ferramentas permitem quantificar de forma objetiva parâmetros de motilidade e cinemática espermática, com maior sensibilidade para identificar alterações que podem passar despercebidas na observação visual, além de possibilitarem registro e armazenamento de imagens e dados, favorecendo auditorias e análises retrospectivas (Sebastião *et al.*, 2018; Matamoros *et al.*, 2025).

Estudos recentes indicam associação entre parâmetros cinemáticos, como velocidade progressiva e linearidade (LIN), e desfechos reprodutivos em campo, o que reforça o interesse

por métodos mais objetivos na avaliação de touros, inclusive em raças de ampla utilização na pecuária brasileira (Seranholi *et al.*, 2021; Azevedo *et al.*, 2024). A automatização pode contribuir para padronizar rotinas laboratoriais e otimizar o fluxo de trabalho, desde que acompanhada de adequada calibração, configuração e padronização metodológica (Bastan *et al.*, 2024; Del Prete *et al.*, 2022).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo comparar a avaliação espermática subjetiva tradicionais com a oferecida pelo sistema MACEbox, verificando a correlação entre os resultados e identificando possíveis vantagens e limitações de cada abordagem. Os achados contribuíram para o aprimoramento de protocolos de avaliação seminal, com impacto positivo na confiabilidade laboratorial, na eficiência reprodutiva e em programas de melhoramento genético na pecuária bovina (AZEVEDO *et al.*, 2024).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REPRODUÇÃO BOVINA: FISIOLOGIA E IMPORTÂNCIA DO SÊMEN NA FERTILIDADE

A fisiologia espermática é elemento central da reprodução bovina e influencia diretamente o sucesso da fertilização e a eficiência reprodutiva dos rebanhos. O sêmen, como produto funcional do sistema reprodutor masculino, reflete a integridade testicular, o adequado controle endócrino e as condições de manejo as quais o animal está submetido. A espermatogênese, processo pelo qual espermatozoides são formados nos túbulos seminíferos dos testículos, ocorre de maneira contínua e cíclica, sob controle hormonal e dependente da integridade testicular (Hafez & Hafez, 2004). Esse processo dura em média 61 dias, incluindo as fases mitótica, meiótica e de espermiogênese (Staub & Johnson, 2018).

Após a formação, os espermatozoides migram para o epidídimo, onde são submetidos a maturação funcional, adquirindo motilidade progressiva e capacidade de fertilizante. O epidídimo atua como via de transporte, local de armazenamento e ambiente de modulação bioquímica, essencial para que os gametas estejam aptos à ejaculação e à sobrevivência no trato reprodutivo feminino. Nessa fase, ocorre reorganização de membrana, compactação do material nuclear e ativação progressiva de mecanismos relacionados à motilidade (Celeghini *et al.*, 2023; Fernandez-Fuertes *et al.*, 2023).

A qualidade seminal é usualmente descrita por atributos como motilidade, vigor, morfologia, concentração e integridade das estruturas celulares, os quais se correlacionam diretamente com o potencial de fertilização do sêmen (Hafez & Hafez, 2004; Tanga *et al.*,

2021). Entre esses parâmetros, a motilidade progressiva destaca-se como preditor funcional por representar a capacidade do espermatozoide de migrar no trato reprodutivo da fêmea até alcançar o ovócito, razão pela qual é amplamente utilizada na triagem e na seleção de ejaculados para biotecnologias reprodutivas (Aguiar, 2024).

Além dos parâmetros clássicos, a capacitação espermática, que ocorre no trato reprodutivo da fêmea após a ejaculação, envolve alterações na membrana espermática que culminam na reação acrossômica, evento indispensável para a penetração da zona pelúcida. A possibilidade de avaliar indiretamente o estado funcional do espermatozoide por testes complementares, incluindo ensaios fluorescentes e marcadores bioquímicos, tem sido discutida como estratégia para aprimorar a capacidade preditiva dos protocolos de avaliação seminal (Celeghini *et al.*, 2023)

Avanços em biologia molecular e proteômica, tem-se ampliado a compreensão do potencial fertilizante, ao apontarem associações entre perfis moleculares de espermatozoides e do plasma seminal e parâmetros de qualidade, como motilidade, integridade de membrana e sobrevivência celular (Tanga *et al.*, 2021; Viana *et al.*, 2018). Esses achados sugerem a existência de biomarcadores promissores de fertilidade, capazes de complementar a avaliação tradicional e reduzir incertezas na seleção de reprodutores, especialmente em contextos de inseminação artificial e produção *in vitro* de embriões (Killian *et al.*, 2016).

A fisiologia espermática também é influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos, como estresse térmico, nutrição, condições sanitárias e manejo, os quais repercutem na qualidade do ejaculado e no desempenho reprodutivo (Shahat *et al.*, 2025). Assim, a compreensão integrada do percurso do espermatozoide, desde a formação e maturação até sua capacitação e função no trato reprodutivo feminino, é indispensável para otimizar programas de reprodução assistida e elevar índices de fertilidade em sistemas de produção bovina (Pearson, 2024).

2.2 MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO ESPERMÁTICA

2.2.1 MOTILIDADE SUBJETIVA:

A análise da motilidade espermática é um componente central da avaliação seminal, por sua relação funcional com o deslocamento no trato reprodutivo feminino e, consequentemente, com a fertilização (Tanga *et al.*, 2021). Na rotina, a motilidade é

frequentemente um dos primeiros critérios utilizados para triagem de ejaculados, seja em monta natural, seja em centrais de inseminação (Aguilar, 2024).

A avaliação subjetiva da motilidade consiste na observação direta, sob microscopia óptica, na qual o avaliador estima a porcentagem de células móveis e progressivas com base em critérios visuais (Peter *et al.*, 2021). Por ser prática e de baixo custo, essa abordagem é amplamente utilizada, porém apresenta limitação relevante: sua dependência de fatores humanos e operacionais, o que aumenta a variabilidade intra-observador e inter-observador. Diferenças na experiência técnica, na iluminação, na preparação da lâmina, temperatura ambiente ou da mesa aquecedora, tempo de preparo e avaliação podem alterar significativamente os resultados (Graham *et al.*, 2023).

Estudos apontam que a avaliação visual possui sensibilidade limitada para detectar diferenças cinemáticas sutis, quando utilizada isoladamente, pode apresentar correlação restrita com a fertilidade em campo (Amann; Waberski, 2022). Por essa razão, recomenda-se que a motilidade subjetiva seja interpretada em conjunto com outros parâmetros e, quando possível, complementada por métodos objetivos, como sistemas computadorizados (MACE), além de testes funcionais, como integridade de membrana e avaliação mitocondrial, para ampliar a precisão diagnóstica (Azevedo *et al.*, 2024; Graham *et al.*, 2023).

Além disso, a motilidade subjetiva, quando utilizada de forma isolada, apresenta correlação limitada com a fertilidade real do campo. Pesquisas demonstram que a avaliação visual é menos sensível para identificar alterações funcionais dos espermatozoides que impactam diretamente a capacidade de fecundação (Bansai *et al.*, 2025). Dessa forma, a literatura recomenda a associação da motilidade subjetiva com métodos objetivos, como a análise computadorizada do sêmen (MACE), além de testes de integridade de membrana e avaliação mitocondrial, para aumentar a precisão diagnóstica (Azevedo *et al.*, 2024; Graham *et al.*, 2023).

Apesar das limitações, a motilidade subjetiva permanece relevante em contextos em que tecnologias automatizadas não estão disponíveis. Quando associada a critérios técnicos padronizados e realizada por profissionais capacitados, ela pode oferecer informação útil para a triagem inicial e tomada de decisão, especialmente em rotinas de campo (Peter *et al.*, 2021).

2.2.2 VIGOR ESPERMÁTICO

O vigor espermático expressa a intensidade do movimento dos espermatozoides e é frequentemente utilizado como indicador funcional complementar na avaliação seminal de touros (Tanga *et al.*, 2021). Em rotinas de exame andrológico e em avaliações de campo, o

vigor auxilia a estimar, de forma rápida, o desempenho motor das células, com especial interesse para a motilidade progressiva e para a eficiência do deslocamento no trato reprodutivo feminino (Oliveira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

A avaliação do vigor é tradicionalmente subjetiva e realizada logo após a coleta ou descongelamento, em lâmina aquecida a 36°, sendo expressa em escala semiquantitativa. Embora útil pela praticidade, o resultado pode ser influenciado por variáveis como temperatura de lâmina, tempo de leitura e experiência do avaliador, o que exige padronização de rotina e interpretação integrada com outros parâmetros seminais para reduzir vieses e aumentar a comparabilidade (Fernandes *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2022).

Estudos de campo indicam associação entre valores médios de vigor mais elevados e maior potencial fertilizante em touros, ainda que não exista um limiar absoluto universal, devendo esse parâmetro ser sempre interpretado em conjunto com outros atributos seminais, como motilidade, concentração e morfologia (Melo *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024). Nesse sentido a integração do vigor espermático com métodos complementares, como testes de integridade de membrana, análises computadorizadas de cinética espermática e testes de resistência térmica, tem sido recomendada para uma avaliação mais abrangente e precisa da qualidade seminal (Oliveira *et al.*, 2021).

Assim, embora apresente limitações inerentes ao seu caráter subjetivo, o vigor espermático permanece como parâmetro indispensável na rotina andrológica, especialmente em condições de campo (Oliveira *et al.*, 2021). Quando aplicado de forma padronizada e interpretado de maneira integrada a outros parâmetros, contribui de maneira significativa para decisões reprodutivas mais seguras e para eficiência dos programas de inseminação artificial em bovinos (Melo *et al.*, 2023)

2.2.3 MORFOLOGIA ESPERMÁTICA

A morfologia espermática é um parâmetro indispensável na avaliação seminal de reprodutores bovinos, por permitir identificar alterações estruturais capazes de comprometer a fertilização, mesmo quando motilidade e vigor se apresentam adequados (Oliveira *et al.*, 2021). Defeitos morfológicos podem reduzir taxas de concepção e comprometer o desempenho reprodutivo, razão pela qual a análise morfológica integra exames andrológicos e programas de reprodução assistida (Celeghini *et al.*, 2022).

É comumente realizada por microscopia óptica após colorações específicas, com análises das regiões de cabeça, peça intermediária e cauda (CBRA, 2020). A classificação em

defeitos maiores e menores, ou compensáveis e não compensáveis, auxilia a estimar o impacto sobre a fertilidade e a orientar decisões quanto ao uso do ejaculado, devendo-se considerar idade, categoria animal e contexto produtivo, evitando a adoção de valores absolutos como único critério decisório (Petersen *et al.*, 2021).

A avaliação morfológica também é fundamental no controle de qualidade de sêmen destinado a criopreservação, uma vez que o processo de congelamento e descongelamento pode intensificar alterações estruturais preexistentes ou induzir novos danos celulares (Oliveira *et al.*, 2021). Pesquisas realizadas com sêmen bovino criopreservado demonstram aumento significativo de defeitos na peça intermediária e na cauda após descongelamento, evidenciando a necessidade de monitoramento morfológico antes e após o processo de criopreservação, especialmente quando o sêmen é destinado à inseminação artificial em larga escala (Melo *et al.*, 2023).

A frequência e o tipo de alterações morfológicas variam de acordo com a idade, manejo, a estação do ano e o estado sanitário do animal. Estudos recentes indicam que o estresse térmico e deficiências nutricionais estão frequentemente associados ao aumento da incidência de defeitos espermáticos, reforçando o papel da morfologia como importante indicador da saúde reprodutiva dos touros (Azevedo *et al.*, 2024). Dessa forma, recomenda-se a realização periódica da avaliação morfológica, especialmente antes da estação de monta ou da criopreservação do sêmen (Celeghini *et al.*, 2022).

Portanto, a análise da morfologia espermática deve ser sempre interpretada em conjunto com outros parâmetros seminais, como motilidade, vigor, concentração e viabilidade. A avaliação isolada da morfologia pode ser limitada, porém, quando inserida em um protocolo completo de análise seminal, fornece subsídios mais precisos para o diagnóstico do potencial reprodutivo do animal. Nenhuma avaliação da qualidade seminal pode ser considerada completa sem análise detalhada da morfologia espermática, o que afirma sua importância como pilar fundamental da reprodução bovina (Petersen *et al.* 2021).

2.3 EXAME ANDROLÓGICO

O exame andrológico em bovinos é reconhecido, como um dos principais instrumentos para avaliação do potencial reprodutivo de touros utilizados nos programas de inseminação artificial (Bernardy *et al.*, 2022). Trata-se de um procedimento técnico que integra avaliação clínica geral, exame específico do aparelho reprodutor e análise seminal, permitindo identificar precocemente reprodutores inaptos ou com desempenho reprodutivo

comprometido, reduzindo riscos produtivos e econômicos nos sistemas pecuários (Pinho *et al.*, 2013).

Do ponto de vista conceitual, a andrologia bovina dedica-se ao estudo da função reprodutiva do macho, considerando fatores anatômicos, fisiológicos, ambientais e de manejo que interferem na fertilidade (Vale Filho, 1997). Embora o exame andrológico não assegure, de forma isolada, o sucesso reprodutivo, ele se consolidou como ferramenta essencial de triagem e tomada de decisão, sobretudo quando aplicado de forma periódica e associado a práticas adequadas de manejo reprodutivo (Bernardy *et al.*, 2022).

Uma avaliação reprodutiva se inicia pela anamnese, cujo objetivo é conhecer o motivo principal da avaliação, além de obter informações gerais sobre o histórico reprodutivo, nutricional e sanitário (Pinho *et al.*, 2013). Em seguida, realiza-se o exame específico do aparelho reprodutor, com inspeção e palpação do escroto, testículos e epidídimos, a fim de identificar alterações como assimetrias, variações de consistência, processos inflamatórios ou degenerativos (Pinho *et al.*, 2013). Estudos recentes em rebanhos brasileiros demonstram que alterações clínicas do trato reprodutor masculino estão diretamente associadas à redução da qualidade seminal e ao comprometimento da eficiência reprodutiva, especialmente em sistemas extensivos (Bernardy *et al.*, 2022).

A mensuração da circunferência escrotal se torna relevante no exame andrológico, por sua relação direta com a produção espermática (ABMVZ, 2020). A circunferência escrotal apresenta correlação positiva com a quantidade e a qualidade dos espermatozoides produzidos, sendo amplamente utilizada como critério de seleção de reprodutores em programas de melhoramento genético bovinos (Silva *et al.*, 2022). Estudos recentes evidenciam que touros com maior circunferência escrotal apresentam melhores índices andrológicos e comportamentais, refletindo maior potencial reprodutivo em sistemas de monta natural (Fonseca *et al.*, 1997).

Estudos recentes conduzidos no Brasil indicam elevada variabilidade nos resultados de exames andrológicos, mesmo entre touros aparentemente saudáveis, o que reforça a necessidade de avaliações periódicas, preferencialmente realizadas antes do início da estação de monta. Pesquisa realizada por Pinho *et al.* (2013), demonstrou que uma parcela significativa dos touros avaliados apresentou algum grau de inaptidão reprodutiva, evidenciando que a ausência do exame andrológico prévio pode comprometer severamente os índices reprodutivos do rebanho.

Outro aspecto fundamental refere-se à interpretação temporal dos resultados do exame andrológico. Alterações na qualidade seminal podem refletir eventos ocorridos semanas antes da avaliação, como estresse térmico, doenças sistêmicas ou deficiência nutricionais (Bernardy *et al.*, 2022). Nesse sentido, estudos recentes reforçam a importância da reavaliação de touros com resultados limítrofes ou inconclusivos, evitando o descarte precoce de animais com alterações potencialmente reversíveis.

Estudo publicado na revista *Theriogenology* em 2024 demonstrou que a aplicação da Breeding Soundness Evaluation (Avaliação da Aptidão Reprodutiva) em touros Nelore jovens, resultou em melhorias consistentes no potencial reprodutivo ao longo do tempo, reforçando a importância da padronização e do uso contínuo do exame em rebanhos comerciais brasileiros (Diaz Miranda *et al.*, 2022).

Dessa forma, o exame andrológico consolida-se como um instrumento técnico indispensável para a eficiência reprodutiva da bovinocultura brasileira (Pinho *et al.*, 2013). Ao permitir a identificação criteriosa de reprodutores aptos, a exclusão de animais com limitações reprodutivas e o planejamento mais racional do manejo, o exame contribui para melhoria dos índices de fertilidade e para a redução de falhas reprodutivas, sobretudo em sistemas de monta natural (Diaz Miranda *et al.*, 2022).

2.4 LIMITAÇÕES E VARIABILIDADE ENTRE AVALIADORES

A avaliação seminal é uma etapa central nos programas de reprodução animal especialmente na bovinocultura, pois subsidia decisões relacionadas à seleção de reprodutores, eficiência reprodutiva e viabilidade de técnicas como a inseminação artificial. Apesar de sua ampla utilização, diversos parâmetros tradicionalmente empregados apresentam limitações metodológicas relevantes, sendo a variabilidade entre avaliadores um dos principais fatores que comprometem a confiabilidade e a reprodutibilidade dos resultados (Amann; Waberkis, 2023).

Entre os aspectos mais sensíveis da avaliação seminal encontram-se os parâmetros obtidos por métodos predominantemente subjetivos, como a motilidade progressiva e o vigor espermático. De acordo com Celeghini *et al.*, 2023, esses parâmetros dependem diretamente da percepção visual do avaliador, de sua experiência prática e do rigor metodológico adotado durante a análise microscópica, o que favorece a ocorrência de divergências tanto entre diferentes observadores quanto em avaliações repetidas realizadas pelo mesmo profissional.

Distingue-se a variabilidade inter-observador da intra-observador, sendo ambas responsáveis por impactos relevantes na consistência dos resultados laboratoriais. Bernardy *et*

al., 2022 demonstram que fatores como fadiga visual, tempo de exposição da amostra, pequenas variações na temperatura da lâmina e a ausência de protocolos padronizados contribuem para inconsistências nas avaliações, mesmo quando estas são realizadas sob condições laboratoriais aparentemente semelhantes.

Estudos comparativos conduzidos em diferentes centros de reprodução animal indicam que a falta de uniformização de critérios de leitura e de treinamento técnico está diretamente associada à insuficiência dos resultados. Celeghini *et al.*, 2023, observaram divergências estatisticamente significativas na avaliação da motilidade espermática entre laboratórios que utilizavam microscopia óptica convencional, evidenciando que a comparabilidade dos dados permanece limitada quando não há padronização metodológica rigorosa.

Na tentativa de minimizar a interferência humana e aumentar a objetividade das análises, foram desenvolvidos os sistemas computadorizados de análises seminal, conhecidos como CASA e MACE. Esses sistemas permitem a mensuração automatizada de parâmetros cinemáticos espermáticos, ampliando a precisão e quantidade de informações obtidas. Contudo, estudos recentes apontam que a adoção do sistema computadorizado não elimina completamente a variabilidade, mas introduz novas fontes de inconsistência relacionadas à tecnologia empregada (Del Prete *et al.*, 2022).

Segundo Del Prete *et al.* (2022), os resultados fornecidos pelos sistemas MACEbox pode variar de forma significativa em função das configurações adotadas, dos algoritmos de processamento de imagem, da taxa de captura de quadros e da qualidade da preparação da amostra. Parâmetros como velocidade curvilínea, velocidade linear progressiva e linearidade mostram-se particularmente sensíveis a essas variações, o que dificulta a comparação direta de resultados entre diferentes softwares ou laboratórios Del Prete *et al.* (2022).

Conclui-se, portanto, que a variabilidade entre avaliadores na avaliação seminal constitui um problema complexo e multifatorial, envolvendo componentes humanos, técnicos e tecnológicos. A superação dessas limitações exige não apenas a incorporação de novas ferramentas analíticas, mas sobretudo a harmonização metodológica, o treinamento sistemático dos avaliadores e a adoção de critérios validados que assegurem maior confiabilidade e comparabilidade dos resultados entre diferentes contextos laboratoriais (Mortimer *et al.*, 2024).

2.5 TECNOLOGIAS DE AVALIAÇÃO COMPUTADORIZADA

2.5.1 PRINCIPIOS DO MACE/CASA:

A incorporação da tecnologia de avaliação computadorizada do sêmen representou um avanço significativo na área da reprodução animal, especialmente diante das limitações associadas às análises seminais convencionais baseadas em observação visual, método subjetivo. Sistemas como o Computer Assisted Sperm Analysis (CASA) e Microscopic Automated Computer Evaluation (MACE) foram desenvolvidos com o objetivo de aumentar a objetividade, a precisão e o êxito dos resultados, reduzindo a influência direta do avaliador sobre parâmetros críticos como motilidade e cinemática espermática (Belala, 2024).

Os sistemas CASA baseiam-se na aquisição de sequências de imagens e vídeos microscópicos, a partir dos quais algoritmos computacionais realizam a segmentação dos espermatozoides, o rastreamento de suas trajetórias ao longo do tempo e o cálculo de variáveis cinemáticas. Entre os principais parâmetros obtidos destacam-se a velocidade curvilínea, a velocidade em linha reta, a velocidade média do percurso, bem como índices derivados de progressividade e linearidade, que buscam quantificar de forma objetiva o padrão de deslocamento espermático (Alquézar Baeta *et al.*, 2019).

A robustez dessas medições, contudo, depende diretamente da qualidade da aquisição da imagem e das condições pré-analíticas da amostra. Fatores como profundidade da câmera de leitura, temperatura durante a análise, diluição da amostra, concentração espermática e qualidade óptica do sistema de microscopia exercem influência direta sobre a detecção e o rastreamento das células. A motilidade espermática apresenta comportamento tridimensional complexo, o qual pode ser distorcido quando analisado em geometrias confinadas, afetando a trajetória registrada e, consequentemente, os parâmetros cinemáticos derivados (Canonico *et al.*, 2024).

Além das condições físicas de análise, os resultados fornecidos por sistemas CASA são fortemente influenciados pelas configurações computacionais adotadas. Parâmetros como taxa de quadros por segundo, tempo de gravação, limiares de contraste, filtros de tamanho e critérios de definição de espermatozoide progressivo variam entre sistemas e mesmo entre análises realizadas no mesmo equipamento (Bastan *et al.*, 2024). Estudos em bovinos demonstram que pequenas alterações nesses ajustes são suficientes para gerar diferenças estatisticamente significativas nos valores finais, evidenciando que a variabilidade tecnológica constitui uma limitação relevante dessas ferramentas (O'Meara, C. *et al.*, 2022).

Dessa forma, a avaliação computadorizada do sêmen configura-se como uma ferramenta de grande potencial para a reprodução animal, desde que utilizada de maneira criteriosa e padronizada (Belala, 2024). Os ganhos em objetividade e detalhamento cinemático devem ser interpretados à luz das limitações impostas pelas condições pré-analíticas, pelas configurações computacionais e pelas diferenças entre plataformas (Belala, 2024). Assim, a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados dependem menos da tecnologia em si e mais da padronização metodológica, da validação dos sistemas e da adequada descrição dos protocolos empregados (O'Meara, C.*et al.*,2022).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Comparar a avaliação espermática de touros por métodos subjetivos tradicionais com a avaliação obtida pelo sistema MACE.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a motilidade total e progressiva pelo método subjetivo e pelo MACE
- Avaliar o vigor espermático pelo método subjetivo.
- Comparar os índices de anormalidades espermáticas detectadas por ambos os métodos.
- Verificar se o MACE apresenta menor variabilidade nos resultados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada entre os meses de outubro a meados de novembro de 2025 na cidade de Rio Branco-AC, no laboratório de reprodução animal da Universidade Federal do Acre, utilizando sêmen congelado de touros previamente selecionados para a análise seminal.

As análises laboratoriais foram realizadas em ambiente controlado, seguindo rotinas padronizadas de avaliação da qualidade seminal, com o objetivo de comparar parâmetros obtidos por métodos subjetivos tradicionais com gerados por sistema computadorizado MACE.

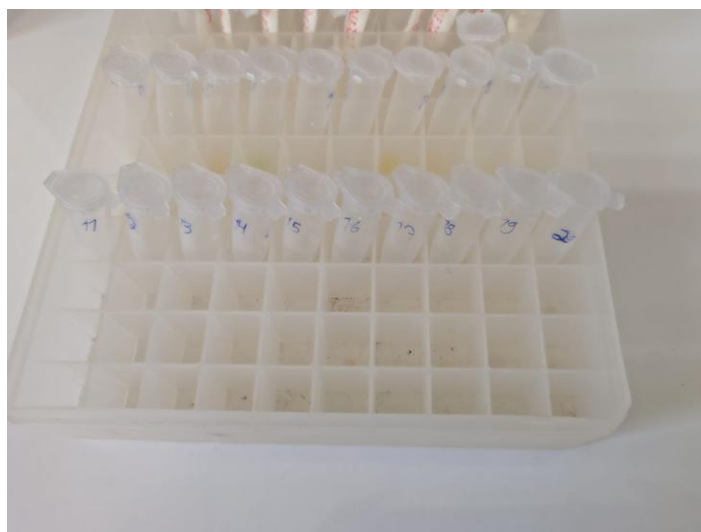
Foram utilizadas 20 amostras de sêmen congelados de touros distintos das raças Angus, Nelore e Sindi classificados de 1 a 20 proveniente de centrais de inseminação devidamente identificadas quanta origem, lote e data de fabricação, as amostras foram retiradas do botijão de nitrogênio e descongeladas por meio de descongelador de sêmen sobre temperatura de 36°C por 30 segundos, após o descongelamento, as amostras foram devidamente avaliadas (CBRA,2013).

Figura 1: Amostras de sêmen classificadas de 1 a 10



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Figura 2: Amostras de sêmen de 11 a 20



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A avaliação da motilidade espermática foi realizada em microscópio óptico com lâminas e lamínulas previamente aquecidas na mesa aquecedora sob temperatura de 35.9°C, utilizando 6µL de sêmen para avaliação no MACE e 10µL para a avaliação subjetiva com um aumento de 20x no microscópio óptico, foi expressa em porcentagem total de espermatozoides moveis no qual o limite mínimo aceitável é do 30% (CBRA,1998).

Figura 3: Materiais sobre mesa aquecedora para análise

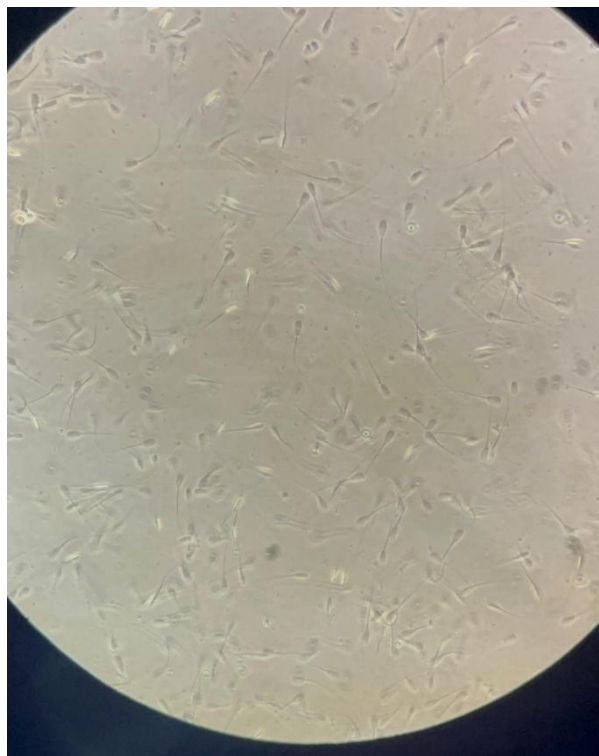


Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Ao mesmo momento foi realizada a avaliação do vigor, que representa a força de movimento em conjunto com a velocidade do espermatozoide, indicado por escala de 0 a 5, na

qual zero significa ausência total de movimento progressivo e cinco representa um movimento progressivo e vigoroso, sendo aceitável no mínimo 3 como sêmen de qualidade (CBRA, 1998).

Figura 4: Lâmina de vigor espermático



Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Para a avaliação da concentração espermática, foi utilizado 10 μ L de sêmen diluído em formou-salina sobreposto em lamínula e câmara de Neubauer sobre microscópio com aumento de 20 e 40x. A contagem foi realizada em cinco quadrantes na diagonal, a leitura foi realizada de forma sistemática, permitindo a estimativa do número de espermatozoides por mililitro de sêmen de cada amostra, parâmetro essencial para a interpretação da qualidade seminal e para comparações entre ejaculados (Martins *et al.*, 2016).

Figura 5: Câmara de Neubauer com amostra preparada para análise de concentração

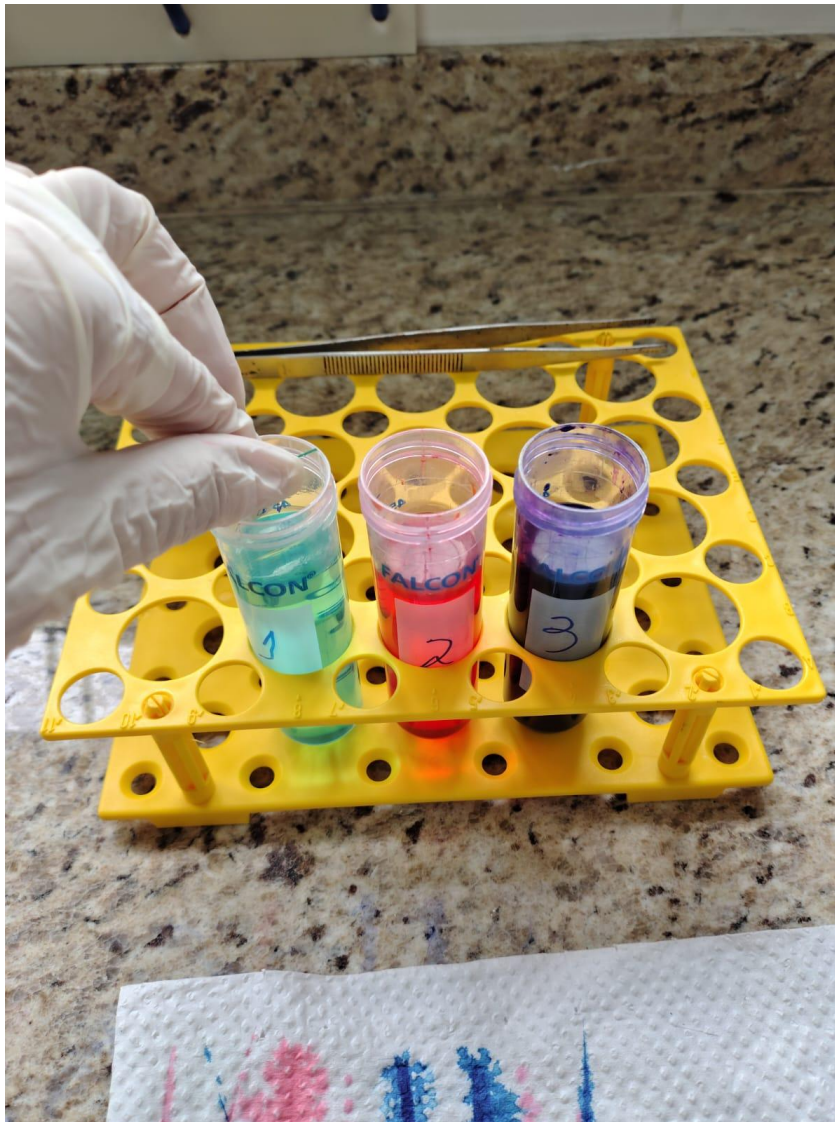


Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Na análise de patologias usou-se o método de esfregaço da lâmina onde o preparo foi feito com 10 μ L de sêmen emergido em solução panótica (Kit panótico), por 15 segundos e após as lâminas previamente secas, são analisadas em microscópio classificando-se as alterações morfológicas em defeitos maiores e menores, de acordo com sua localização e relevância funcional (CBRA,2013)

Foram observadas alterações de cabeça, peça intermediária e cauda, sendo os resultados expressos em porcentagem de espermatozoides anormais por amostra, totalizando em média essa classificação segue os critérios preconizados para exames andrológicos em bovinos (Celeghini *et al.*,2017).

Figura 6: Lâminas sendo coradas em solução panótica



Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Figura 7: Contagem e análise de patologias



Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Figura 8: Aparelho utilizado na leitura computadorizada



4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados no programa R (*versão 4.6.0 – R Foundation*). Inicialmente, foi realizada a estatística descritiva dos dados obtidos, com o objetivo de caracterizar as variáveis avaliadas nos dois métodos de análise espermática (subjetivo e computadorizado – MACEbox). Para cada variável (motilidade, vigor, concentração e porcentagem de patologias) foram calculadas as seguintes medidas: média aritmética, desvio padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação (CV%). A estatística descritiva foi empregada para avaliar a dispersão e a variabilidade dos dados, bem como para fornecer uma visão geral do comportamento das variáveis em cada método de análise.

Os dados também foram analisados quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro- Wilk, verificando-se que os parâmetros seminais não atenderam ao pressuposto de distribuição normal, dessa forma, para a comparação entre os métodos computadorizado (MACEbox), foi empregado o teste não paramétrico de Wilcoxon ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os métodos por meio do teste de Wilcoxon demonstrou diferenças significativas para as variáveis motilidade, concentração espermática e porcentagem de patologias ($p < 0,05$). O método computadorizado (MACEbox) apresentou valores superiores para motilidade e detecção de patologias, enquanto o método subjetivo apresentou maiores valores de concentração espermática (Tabela 2). Para a variável do vigor espermático não foram encontradas diferenças significativas.

Para a motilidade espermática, o sistema MACEbox apresentou média de 60,2%, enquanto o método subjetivo apresentou 54,0%, sendo observada diferença significativa ($p < 0,05$). Esse resultado sugere maior sensibilidade do sistema computadorizado na detecção de células móveis, resultados corroboram com os achados de Farrell *et al.*, (1998), que observaram em sêmen bovino valores variando entre 52% e 82% quando avaliados por sistema computadorizado, enquanto a avaliação subjetiva variou apenas entre 62% e 69%, demonstrando menor capacidade discriminatória do método convencional.

De forma semelhante, Peter (2021) relatou que amostras bovinas congeladas apresentaram motilidade entre 11% e 48% na avaliação subjetiva e no método MACE, destacando que a análise computadorizada tende a fornecer resultados mais consistentes quando há padronização metodológica. Assim, os valores observados neste estudo

demonstram comportamento semelhante ao descrito na literatura, indicando maior precisão do MACE na análise da motilidade espermática bovina.

Segundo Del Prete *et al.*, (2022), os sistemas computadorizados permitem análise mais detalhada da cinética, identificando movimentos que podem não ser percebidos visualmente pelo avaliador. Além disso, observa-se que o coeficiente de variação foi superior no método subjetivo em 43,08% em comparação ao MACE 21,74%, indicando maior variabilidade e menor repetitividade da análise convencional. Esse comportamento reforça a influência da experiência do observador e da fadiga visual sobre os resultados subjetivos.

Não houve diferença estatística significativa em relação ao vigor entre os métodos ($p > 0,05$), com médias de 3,58 no MACE e 3,85 no método subjetivo. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que o vigor é uma variável tradicionalmente baseada em interpretação visual e possui maior subjetividade metodológica, mesmo quando associado a sistemas computadorizados. Os coeficientes de variação relativamente baixos em ambos os métodos (22,41% no MACE e 21,11% no subjetivo) demonstram menor dispersão dos dados, sugerindo maior uniformidade na avaliação desse parâmetro.

Em relação a concentração espermática, apresentou diferença altamente significativa entre os dois métodos ($p < 0,01$), sendo maior no método subjetivo ($221,75 \times 10^6$ espermatozoides/ ml) em relação ao MACE ($133,97 \times 10^6$ espermatozoides/ ml). Resultados semelhantes foram relatados por O' Meara *et al.*, (2022), que observaram que alterações nas configurações do sistema CASA influenciaram diretamente os resultados de concentração espermática, reforçando a necessidade de padronização dos equipamentos. Além disso, Belala *et al.*, (2024) destacam que a análise computadorizada apresenta maior objetividade na contagem celular, reduzindo erros relacionados à sobreposição de células e subjetividade do observador. Portanto, a maior média observada no método subjetivo neste estudo pode indicar possível superestimação da concentração pela contagem manual.

No que se refere às patologias espermáticas, o método computadorizado apresentou média superior (20,12%) em comparação ao subjetivo (16,50%), com diferença significativa ($p < 0,05$). Esse resultado corrobora com o estudo de Pichardo-Matamoros *et al.*, (2023), que verificaram em touros da raça Brahman que a porcentagem de espermatozoides anormais apresentou elevado potencial discriminatório para determinar a qualidade seminal, observando prevalência de defeitos morfológicos variando de 0,41% a 18,93%, dependendo do tipo de alteração encontrada, pois o método MACE não especifica os tipos de defeitos encontrados apenas o total de patologias presentes.

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros seminais avaliados em sêmen bovino congelado por método subjetivo e computadorizado (MACE).

Parâmetro	Método	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
Motilidade (%)	MACE	20	60,2	12,78	25,00	76,70	21,74
Motilidade (%)	Subjetivo	20	54,00	23,26	10,00	90,00	43,08
Vigor	MACE	20	3,58	0,80	2,00	5,00	22,41
Vigor	Subjetivo	20	3,85	0,81	3,00	5,00	21,11
Concentração espermática	MACE	20	133,97	39,19	71,80	206,72	29,25
Concentração espermática	Subjetivo	20	221,75	97,14	110,00	375,00	43,81
Patologias espermáticas (%)	MACE	20	20,12	17,37	2,38	57,95	86,34
Patologias espermáticas (%)	Subjetivo	20	16,50	5,93	7,00	29,00	35,96

Nota: n corresponde ao número de amostras válidas analisadas. CV coeficiente de variação (%) = (desvio-padrão/média) $\times$ 100.

Fonte: A autora (2025).

Tabela 2. Comparação entre médias dos parâmetros seminais avaliados em sêmen bovino congelado por método subjetivo e computadorizado (MACE).

Parâmetro	Média	n	p-valor	Método
Motilidade	60,2	20	p < 0,05	MACE
	54,00	20		SUB
Vigor	3,58	20	p > 0,05	MACE
	3,85	20		SUB
Concentração espermática	133,97	20	p < 0,01	MACE
	221,75	20		SUB
Patologias espermáticas	20,12	20	p < 0,05	MACE
	16,50	20		SUB

Fonte: A autora (2025)

6 CONCLUSÕES

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas para a maioria dos parâmetros avaliados. A análise demonstrou que o método subjetivo pode subestimar ou superestimar determinados parâmetros em relação ao sistema computadorizado. Dessa forma, o uso do MACEbox demonstra maior padronização e sensibilidade, especialmente na avaliação de patologias espermáticas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. M. S. de; MACEDO, V. H. M.; CARNEIRO JUNIOR, J. M.; CARVALHO, B. P. *Pecuária de cria no Acre: genética, reprodução e sanidade do rebanho*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2024. 33 p.
- ABMVZ. Potencial reprodutivo de touros Nelore avaliado por parâmetros andrológicos e comportamentais. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, 2020.
- AGUIAR, S. F. Fisiologia do movimento espermático e sua relação com fertilidade. *Revista Ciência Animal*, Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/view/14728>. Acesso em: 15 mar. 2026.
- ALQUÉZAR BAETA, C. et al. OpenCASA: a new open-source and scalable tool for sperm quality analysis. *PLoS Computational Biology*, San Francisco, v. 15, n. 1, e1006691, 2019.
- AMANN, R. P.; WABERSKI, D. Computer assisted sperm analysis (CASA): capabilities and limitations. *Theriogenology*, New York, 2022.
- AZEVEDO, H. C. de et al. Enhancing evaluation of bull fertility through multivariate CASA. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 15 mar. 2026.
- AZEVEDO, H. C. et al. Influência do estresse térmico e do manejo nutricional sobre a qualidade seminal de touros bovinos. *Animal Reproduction*, Belo Horizonte, v. 21, n. 1, e20240045, 2024.
- BANSAL, A. et al. Limitations of subjective sperm motility in predicting fertility. *Animal Reproduction Science*, Amsterdam, 2025.
- BAŞTAN, İ. et al. Comparison of CASA and smartphone sperm analysis for frozen-thawed bull semen. *Theriogenology*, v. 206, p. 148-156, 2024.
- BAŞTAN, İ. et al. Comparison of computer-assisted sperm analysis and smartphone-applied sperm analysis in assessing sperm motility parameters. *Reproduction in Domestic Animals*, Hoboken, 2024.
- BELALA, R. The use of computer assisted sperm analysis (CASA) in veterinary reproduction. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, Kars, 2024.
- BERNARDY, A. et al. Exame andrológico em touros: aplicações práticas. *Revista Brasileira de Buiatria*, v. 1, n. 3, 2022.
- CANONICO, L. F. et al. Exploring altered bovine sperm trajectories by motility analysis in unconfined conditions. *Frontiers in Veterinary Science*, Lausanne, 2024.
- CBRA. COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL. *Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal*. 2. ed. Belo Horizonte: CBRA, 1998.

CBRA. COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL. *Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal*. 3. ed. Belo Horizonte: CBRA, 2013.

CBRA. COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL. Recomendações para exame andrológico e avaliação de sêmen de bovinos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 44, n. 3, p. 367-381, 2020.

CELEGHINI, E. C. C. et al. Capacitação espermática e fertilidade em bovinos: revisão e perspectivas. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 47, n. 2, p. 182-190, 2023.

CELEGHINI, E. C. C. et al. Avaliação morfológica de espermatozoides bovinos e sua aplicação na rotina andrológica. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 2017.

CELEGHINI, E. C. C.; ARRUDA, R. P.; ANDRADE, A. F. C.; NASCIMENTO, J. Parâmetros seminais e sua relação com a fertilidade de touros. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 46, n. 4, p. 455-468, 2022.

DIAZ-MIRANDA, E. A. et al. Selection based on the Breeding Soundness Evaluation is associated with the improvement of the reproductive quality of young Nellore bulls. *Theriogenology*, v. 226, p. 369-377, 2024. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2024.06.032.

DEL PRETE, C. et al. Assessment of an open-access CASA software for bovine semen analysis. *Animal Reproduction Science*, Amsterdam, v. 239, p. 106993, 2022.

FERNANDES, E. C. et al. *Perfil e movimentação da pecuária bovina do Acre em 2022*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2024. 34 p.

FARRELL, P. B. et al. Comparison of traditional and computer-assisted sperm analysis for evaluating bovine sperm motility. *Theriogenology*, v. 49, n. 5, p. 1059-1070, 1998.

FERNANDES, C. E. et al. Avaliação subjetiva e objetiva da qualidade seminal de touros em programas de reprodução assistida. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 46, n. 2, p. 198-210, 2022.

FERNANDEZ-FUERTE, B. et al. The role of epididymal maturation in bull sperm function. *Animal Reproduction Science*, Amsterdam, 2023.

FONSECA, V. O.; CRUDELI, G. A.; VALE FILHO, V. R. Circunferência escrotal e características seminais de touros Nelore. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 49, n. 1, p. 57-66, 1997.

GRAHAM, J. K. et al. Advances in sperm function assessment and fertility prediction. *Reproduction in Domestic Animals*, Hoboken, 2023.

HAFEZ, B.; HAFEZ, E. S. E. *Reprodução animal*. 7. ed. Barueri: Manole, 2004.

KILLIAN, G. J. Bovine seminal plasma proteins and fertility. *Animal Reproduction Science*, Amsterdam, v. 169, p. 1-8, 2016.

MARTINS, C. F.; DODE, M. A. N.; SILVA, A. E. D. F. *Atlas de morfologia espermática bovina*. Brasília: Embrapa, 2016.

MATAMOROS, K. et al. Portable systems extend computer-assisted semen evaluation: validation for bovine use. *Acta Veterinaria Brno*, v. 94, n. 4, p. 297-306, 2025.

MELO, M. I. V. et al. Alterações morfológicas espermáticas após a criopreservação do sêmen bovino e implicações na fertilidade. *Animal Reproduction*, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, e20230015, 2023.

MORTIMER, D. et al. Standardization and quality control in computer-assisted sperm analysis. *Andrology*, 2024.

OLIVEIRA, L. Z.; ARRUDA, R. P.; CELEGHINI, E. C. C.; ANDRADE, A. F. C. Parâmetros seminais e sua aplicação prática na reprodução bovina. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 45, n. 4, p. 512-524, 2021.

O'MEARA, C. et al. Assisted sperm analysis (CASA) system on bovine semen: importance of applied settings and need for standardized settings. *Animal Reproduction*, Belo Horizonte, 2022.

PEARSON, J. M. A review: breeding behavior and management strategies for improving reproductive efficiency in bulls. *Animal Reproduction Science*, Amsterdam, v. 273, p. 107669, 2025.

PEREIRA, R. J. et al. Parâmetros seminais preditivos de fertilidade em touros Nelore. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 45, n. 2, p. 98-105, 2021.

PEREIRA, R. J. T. A. et al. Variabilidade na avaliação subjetiva do sêmen bovino e implicações para a fertilidade. *Animal Reproduction Science*, Amsterdam, v. 236, p. 106907, 2022.

PETER, A. T. et al. Andrology laboratory review: evaluation of sperm motility. *Clinical Theriogenology*, 2021.

PETERSEN, B. A.; BARTH, A. D.; BRITO, L. F. C. Sperm morphology and its relevance to bull fertility. *Theriogenology*, New York, v. 173, p. 30-38, 2021.

PICHARDO-MATAMOROS, A. et al. Machine learning reveals predictive parameters of bull fertility based on sperm motility and morphology. *Scientific Reports*, v. 13, 2023.

PINHO, R. O. et al. Avaliação andrológica de touros utilizados em sistemas de monta natural. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 245-252, 2013.

SERANHOLI, R. C. et al. Correlação entre parâmetros espermáticos e fertilidade em touros da raça Nelore. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v. 41, n. 1, p. 31-38, 2021.

- SEBASTIÃO, R. V. et al. Importância da avaliação objetiva do sêmen na seleção de touros para programas de melhoramento genético. *Revista Científica de Medicina Veterinária*, v. 26, p. 22-30, 2018.
- SHAHAT, A. M. et al. Oxidative stress, nutrition, and semen quality in bulls: current insights. *Scientific Reports*, London, 2025.
- SILVA, A. E. D. F. et al. Relação entre circunferência escrotal e características do sêmen de touros jovens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 1157-1165, 2002.
- SILVA, A. F. et al. Qualidade seminal de touros em sistemas comerciais e sua relação com índices reprodutivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 51, e20210234, 2022.
- SILVA, R. M. et al. Qualidade seminal de touros Nelore em propriedades comerciais e sua relação com a aptidão reprodutiva. *Animal Reproduction*, Belo Horizonte, v. 21, n. 2, e20240087, 2024.
- STAUB, C.; JOHNSON, L. Spermatogenesis in bulls: a comprehensive review. *Theriogenology*, v. 122, p. 24-35, 2018.
- TANGA, B. M.; NKUNIKA, P. O.; CHIMWAMUROMBE, P. M. Semen quality parameters and fertility prediction in bovine reproduction. *Theriogenology*, New York, v. 173, p. 15-22, 2021.
- VALE FILHO, V. R. Andrologia no touro: avaliação reprodutiva e diagnóstico de infertilidade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 49, n. 5, p. 533-548, 1997.
- VIANA, A. G. A. et al. Proteomic landscape of seminal plasma associated with bull fertility. *Scientific Reports*, London, v. 8, n. 1, p. 16323, 2018.