



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS ARAGUATINS

CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

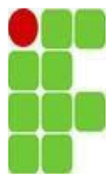
RHÁVYLLA LETÍCIA FEITOSA DA COSTA

WENDELL HIGINO BARBOSA AGUIAR

**BIOMASSA ENERGÉTICA DE CAPIAÇU (*Pennisetum purpureum* cv. BRS
Capiáu): COMPARATIVO DA QUALIDADE DE SILAGENS PARA RUMINANTES**

ARAGUATINS-TO

2025



RHÁVYLLA LETÍCIA FEITOSA DA COSTA

WENDELL HIGINO BARBOSA AGUIAR

BIOMASSA ENERGÉTICA DE CAPIAÇU (*Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçú): COMPARATIVO DA QUALIDADE DE SILAGENS PARA RUMINANTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica da Unidade de Araguatins, do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof.^a Me. Poliana Mendes Avelino de Carvalho

ARAGUATINS-TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

C838b Costa, Rhávylla Letícia Feitosa da
Biomassa energética de capiaçu (*Pennisetum purpureum* cv. BRS
Capiaçu): comparativo da qualidade de silagens para ruminantes /
Rhávylla Letícia Feitosa da Costa, Wendell Higino Barbosa Aguiar. –
Araguatins, TO, 2025.
36 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - IFTO, Araguatins, TO, 2025.

Orientadora: Ma. Poliana Mendes Avelino de Carvalho.

1. Capiaçu. 2. Silagem. 3. Nutrição de ruminantes. I. Aguiar, Wendell
Higino Barbosa. II. Carvalho, Poliana Mendes Avelino de. III. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: BIOMASSA ENERGÉTICA DE CAPIAÇU (*Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçú): UM COMPARATIVO DA QUALIDADE DE SILAGEM PARA RUMINANTES

AUTORES: Rhávylly Letícia Feitosa da Costa

Wendell Higino Barbosa Aguiar

ORIENTADORA: Me. Poliana Mendes Avelino de Carvalho

COORIENTADOR (A): Negrito

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em 04 de junho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Poliana Mendes Avelino de Carvalho, Servidora**, em 04/06/2025, às 16:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Rogerio Pereira Leite, Servidor**, em 04/06/2025, às 21:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Servidora**, em 21/06/2025, às 14:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2779784** e o código CRC **67D86A09**.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa imensa gratidão a todos que nos ajudaram de alguma forma para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Agradecemos a Deus, por está sempre ao nosso lado, nos encorajando e dando forças para continuar nossa jornada. Agradecemos aos familiares e amigos que também sempre estiveram ao nosso lado nos motivando durante toda nossa jornada acadêmica.

Agradecemos a nossa orientadora, Poliana Mendes Avelino de Carvalho por suas orientações e demais contribuições que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos também aos professores do curso, que compartilharam seus conhecimentos durante toda nossa graduação.

Ambição é o caminho para o sucesso.

Persistência é o veículo no qual se chega lá.

Bill Eardley

RESUMO

Este estudo analisou o potencial do Capiáu (*Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiáu) como biomassa energética para produção de silagem de qualidade na alimentação de ruminantes, destacando seus atributos nutricionais, eficiência agrônômica e sustentabilidade. Os resultados evidenciaram que a cultivar apresenta alta produtividade, teores de proteína bruta e energia digestível (NDT $\approx 60\%$) comparáveis a culturas tradicionais, como o milho, além de adaptabilidade a condições climáticas adversas. O processo de ensilagem demonstrou eficiência, com controle de pH abaixo de 4,2 e baixas perdas por deterioração, garantindo conservação nutricional. Em termos de desempenho animal, a silagem de capiáu promoveu ganhos de peso de até 1,2 kg/dia em bovinos, aliados a elevada digestibilidade da matéria orgânica e redução de custos com suplementação. Economicamente, seu cultivo mostrou custo-benefício superior, com despesas 53% menores que as do milho, enquanto os aspectos ambientais destacaram a redução de emissões de metano entérico e a menor pressão por desmatamento. Apesar das limitações, como escassez de estudos regionais específicos e análises de longo prazo, o capiáu se posiciona como uma solução integrada para sistemas pecuários sustentáveis, alinhando produtividade, eficiência econômica e preservação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Capiáu; Silagem de qualidade; Nutrição de ruminantes; Sustentabilidade agropecuária.

ABSTRACT

This study analyzed the potential of Capiáçu (*Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiáçu) as an energy biomass for producing high-quality silage for ruminant feed, highlighting its nutritional attributes, agronomic efficiency, and sustainability. The results showed that this cultivar presents high productivity, crude protein content, and digestible energy (TDN $\approx$ 60%) comparable to traditional crops such as corn, along with adaptability to adverse climatic conditions. The ensiling process proved efficient, with pH control below 4.2 and low spoilage losses, ensuring nutritional preservation. In terms of animal performance, Capiáçu silage promoted weight gains of up to 1.2 kg/day in cattles, coupled with high organic matter digestibility and reduced supplementation costs. Economically, its cultivation showed a superior cost-benefit ratio, with expenses 53% lower than those of corn, while environmental aspects highlighted reduced enteric methane emissions and lower deforestation pressure. Despite limitations such as the scarcity of specific regional studies and long-term analyses, Capiáçu positions itself as an integrated solution for sustainable livestock systems, aligning productivity, economic efficiency, and environmental conservation.

KEYWORDS: Capiáçu; High-quality silage; Ruminant nutrition; Agricultural sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Biomassa Energética na Agropecuária	12
2.2 Silagem como Estratégia de Conservação de Forragens	14
2.3 Bioquímica da ensilagem	14
2.4 Fatores Críticos para Silagem de Qualidade	16
2.4.2 Compactação Adequada.....	18
2.4.3 Aditivos e seu Impacto na Fermentação	19
2.4.4 Efluentes e Crescimento de Fungos e Leveduras.....	20
2.5 CAPIAÇU (<i>PENNISETUM PURPUREUM</i> SCHUM. CV.).....	21
2.6 COMPARAÇÃO COM OUTRAS FORRAGEIRAS PARA SILAGEM.....	24
Tabela 1 Comparativa de Forrageiras para Silagem	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
5 REFERENCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A conservação de forragem é uma ótima estratégia alimentar para o período de escassez, a silagem desempenha um papel essencial na alimentação de ruminantes, especialmente em períodos de escassez de pastagens devido a sazonalidades climáticas ou restrições no acesso a alimentos frescos. Esse método de conservação da forragem permite manter a qualidade nutricional dos alimentos por longos períodos, garantindo a oferta contínua de nutrientes necessários para o desenvolvimento e produtividade dos animais (GUIMARÃES FILHO et al., 2011).

Além de contribuir para a estabilidade alimentar dos rebanhos, a silagem melhora a eficiência da produção pecuária ao oferecer uma fonte energética densa e acessível, reduzindo a dependência de suplementos alimentares mais caros. No Brasil, onde a pecuária tem grande relevância econômica, a silagem é amplamente utilizada para bovinos de corte e leite, sendo um fator crucial para o desempenho zootécnico dos animais (GUIMARÃES FILHO et al., 2011).

No entanto, sua produção exige planejamento criterioso, considerando fatores como a escolha da forrageira adequada, o manejo correto da ensilagem e a manutenção das condições ideais de fermentação para evitar perdas nutricionais. Diferentes tipos de forrageiras, como milho, sorgo e cana-de-açúcar, são tradicionalmente empregados nesse processo, mas enfrentam desafios como custos elevados, variabilidade climática e limitações nutricionais, o que motiva a busca por alternativas mais sustentáveis e economicamente viáveis, como a silagem de subprodutos agroindustriais (DE LIMA VALENÇA et al., 2016).

A produção de silagem de qualidade enfrenta desafios significativos, que vão desde a disponibilidade e custo da matéria-prima até a necessidade de infraestrutura adequada para armazenamento e conservação. A escolha da planta a ser utilizada na ensilagem é determinante para a eficiência do processo, pois fatores como teor de matéria seca, digestibilidade, relação entre fibras e energia e resistência a pragas impactam diretamente na qualidade final do alimento. O milho, por exemplo, é uma das forragens mais utilizadas devido ao seu alto valor energético, mas sua produção envolve elevados custos com insumos agrícolas e forte dependência das condições climáticas. Diante desse cenário, o capiaçu (*Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçu) surge como uma alternativa promissora, pois apresenta alta produtividade, boa

adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e excelente composição nutricional para a alimentação de ruminantes (DA ROSA et al., 2019).

Essa variedade de capim-elefante destaca-se pelo rápido crescimento, permitindo múltiplos cortes ao longo do ano e gerando grande volume de biomassa por hectare. Além disso, possui teores consideráveis de proteína bruta e fibra digestível, tornando-se uma opção vantajosa tanto em termos de custo quanto de qualidade nutricional (LARANJA et al., 2022). Seu uso na silagem tem sido cada vez mais estudado, demonstrando potencial para reduzir a dependência de grãos e outras culturas mais exigentes, promovendo maior sustentabilidade na pecuária, inclusive na alimentação de bovinos leiteiros (DE OLIVEIRA et al., 2023).

Diante da crescente demanda por alternativas forrageiras de alto rendimento e baixo custo para a produção de silagem, torna-se essencial investigar o potencial do capiaçu como biomassa energética e seu impacto na nutrição de ruminantes. Apesar de seu reconhecimento como uma forrageira altamente produtiva, ainda existem lacunas sobre sua eficiência nutricional em comparação com outras culturas tradicionalmente utilizadas na ensilagem, como o milho e o sorgo (LARANJA et al., 2022). Questões como a digestibilidade da fibra, a estabilidade da fermentação e a capacidade de manutenção dos teores de proteína e energia ao longo do armazenamento precisam ser amplamente analisadas para determinar sua viabilidade como um substituto competitivo. Estudos recentes reforçam a importância de otimizar o manejo do capiaçu, como a definição da idade de corte ideal para maximizar os teores de matéria seca e proteína bruta (LARANJA et al., 2022), além de validar sua aplicação em sistemas de produção diversificados (DE OLIVEIRA et al., 2023).

O impacto do uso do capiaçu na dieta dos ruminantes, tanto em termos de desempenho produtivo quanto de saúde digestiva, é um aspecto fundamental a ser explorado, uma vez que o equilíbrio entre fibras, carboidratos e proteínas é determinante para a eficiência alimentar. Assim, este estudo busca atender aos seguintes questionamentos: O capiaçu pode ser considerado uma biomassa energética eficiente para silagem? Quais são seus reais efeitos na nutrição e no desempenho dos ruminantes?

A investigação sobre o potencial do capiaçu como biomassa energética para silagem possui grande relevância para o meio acadêmico, pois contribui para a

ampliação do conhecimento sobre alternativas forrageiras que podem otimizar a produção pecuária de forma sustentável e econômica. Diante dos desafios enfrentados pela agropecuária, como a dependência de grãos na alimentação animal, a vulnerabilidade às variações climáticas e o alto custo da suplementação nutricional, torna-se essencial explorar possibilidades que promovam maior eficiência alimentar sem comprometer a produtividade dos rebanhos.

Estudos sobre essa cultivar permitem a validação científica de suas propriedades nutricionais, auxiliando técnicos, produtores e formuladores de políticas públicas na tomada de decisões embasadas. A academia tem um papel crucial na geração de dados que podem fundamentar a adoção de tecnologias mais acessíveis e sustentáveis, beneficiando não apenas a cadeia produtiva, mas também contribuindo para a segurança alimentar e a preservação ambiental. Dessa forma, esta pesquisa se insere em um contexto maior de desenvolvimento científico e inovação agropecuária, fortalecendo o campo da zootecnia e da produção animal com novas evidências sobre a viabilidade do capiaçu como uma opção estratégica na alimentação de ruminantes.

Para tanto, foi adotada abordagem metodológica baseada em revisão bibliográfica e análise comparativa de dados disponíveis em pesquisas científicas e institucionais sobre a produção e utilização de capiaçu na alimentação de ruminantes. Inicialmente, foi conduzida pesquisa exploratória em bases de dados acadêmicos, como Scielo, Google Acadêmico e periódicos especializados em zootecnia e produção animal, com intuito de reunir informações sobre a composição nutricional do mesmo, seus processos de ensilagem e seus impactos na nutrição de ruminantes. É pretendido, primeiramente, a caracterização de sua composição nutricional, avaliando parâmetros como teor de fibra, proteína bruta e energia digestível, a fim de entender sua viabilidade como alternativa alimentar. Seguida da comparação com outras forrageiras tradicionalmente utilizadas na ensilagem, como milho, sorgo e cana-de-açúcar, para verificar suas vantagens e limitações relativas.

O estudo busca também trazer entendimento aos processos de fermentação e conservação do capiaçu durante a ensilagem, investigando fatores que influenciam a qualidade final da silagem, como umidade, compactação e presença de aditivos. São discutidos benefícios econômicos e ambientais do seu uso, levando em conta custo de produção, impacto na sustentabilidade da pecuária e potencial para redução da

dependência de insumos externos na alimentação animal. Consequentemente, objetivando analisar o potencial do capiaçu como biomassa energética para a produção de silagem de qualidade na alimentação de ruminantes, considerando seus aspectos nutricionais, agrônômicos e econômicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biomassa Energética na Agropecuária

A biomassa é definida como matéria orgânica de origem vegetal ou animal passível de conversão em energia, sendo historicamente a principal fonte energética para atividades humanas até meados do século XIX, quando os combustíveis fósseis ganharam predominância. Conforme Goldenberg (2009), a biomassa foi a fonte dominante de energia para atividades humanas até meados do século XIX, quando carvão, petróleo e gás tornaram-se cada vez mais importantes, mas ainda representa cerca de 10% do suprimento mundial de energia.

Essa definição engloba tanto usos tradicionais, como lenha e carvão vegetal extraídos de forma não sustentável, quanto aplicações modernas, como biocombustíveis e geração de eletricidade a partir de resíduos agrícolas.

A transição para formas mais eficientes e sustentáveis de biomassa é crucial, visto que, como destaca Goldenberg (2009), o uso tradicional da biomassa, ainda predominante em regiões rurais de países em desenvolvimento, está associado a baixa eficiência energética e impactos ambientais, como desmatamento e poluição.

No contexto agropecuário, a biomassa desempenha um papel fundamental na nutrição animal, especialmente para ruminantes, sendo utilizada na forma de forragens, silagens e resíduos agroindustriais, que garantem o fornecimento contínuo de alimento ao longo do ano. Sua importância se deve à capacidade de substituir fontes alimentares mais onerosas, como grãos e concentrados, reduzindo os custos da produção pecuária e minimizando a dependência de insumos externos (DE MIRANDA; MARTINS; LOPES, 2019).

Além disso, a biomassa possui um caráter sustentável, pois sua utilização contribui para o aproveitamento de subprodutos da agricultura e pecuária, promovendo um ciclo produtivo mais eficiente e alinhado aos princípios da economia circular (DA SILVA et al., 2021).

A busca por alternativas viáveis e de alta produtividade, como o capiaçu, tem sido cada vez mais incentivada, visto que a produção agropecuária precisa equilibrar o aumento da demanda por alimentos com práticas ambientalmente responsáveis e economicamente sustentáveis.

A importância da biomassa como recurso renovável na agropecuária reside em sua capacidade de integrar produção agrícola e sustentabilidade. Atualmente, ela se consolida como alternativa estratégica para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar emissões de gases de efeito estufa. Goldenberg (2009) ressalta que a biomassa moderna, como o etanol da cana-de-açúcar e o biodiesel, representa uma contribuição crescente, com balanço energético positivo e potencial para substituir até 20% da energia global até o final do século XXI.

Na agroindústria, sua aplicação vai além da geração de energia, promovendo a circularidade econômica ao aproveitar resíduos como bagaço de cana e palhas. Estudos demonstram que o etanol de cana-de-açúcar possui balanço energético de oito para um, com custo próximo a zero na mitigação de carbono, tornando-o viável mesmo sem subsídios (MACEDO et al., 2008).

Essas características reforçam seu papel central em políticas de transição energética, especialmente em países com vocação agrícola, como o Brasil, onde a biomassa já representa 23,2% da matriz energética primária (MACEDO et al., 2008).

A crescente preocupação com a degradação ambiental e a necessidade de mitigar os efeitos das mudanças climáticas tornam a biomassa uma solução estratégica para substituir fontes de energia não renováveis e minimizar a emissão de gases de efeito estufa (MANTOVANI et al., 2022).

No setor pecuário, a biomassa energética, especialmente na forma de forragens perenes de alto rendimento, contribui para a manutenção da qualidade nutricional dos rebanhos e para a estabilidade da produção, mesmo em períodos de escassez de pastagens naturais (DE MIRANDA; MARTINS; LOPES, 2019).

Além disso, a utilização de biomassa favorece a diversificação dos sistemas produtivos, permitindo a integração entre agricultura e pecuária, o que resulta em maior eficiência no uso do solo e na preservação dos recursos naturais. Assim, o desenvolvimento de pesquisas sobre novas fontes de biomassa, como o capiaçu, representa um avanço significativo para a agropecuária, pois possibilita a adoção de tecnologias mais acessíveis e sustentáveis, garantindo maior rentabilidade para os produtores e reduzindo os impactos ambientais da atividade pecuária (DOS REIS; DOS SANTOS; DE OLIVEIRA GOMES, 2023).

2.2 Silagem como Estratégia de Conservação de Forragens

A ensilagem se destaca como uma técnica essencial para a conservação de forragens em regiões onde a escassez hídrica e a sazonalidade da produção vegetal exigem estratégias eficientes de armazenamento. Conforme Santos et al. (2010), o processo de ensilagem pode ser compreendido como uma técnica de conservação de alimentos que consiste no armazenamento da forragem em ambiente anaeróbico, com a finalidade do desenvolvimento de bactérias produtoras de ácido láctico, que promovem redução do pH e, conseqüentemente, inibição de microrganismos deletérios indesejáveis. Essa dinâmica microbiana é crucial para preservar o valor nutricional da biomassa, como no caso do capiaçu, cuja composição rica em carboidratos solúveis favorece a fermentação homolática, garantindo estabilidade ao produto final.

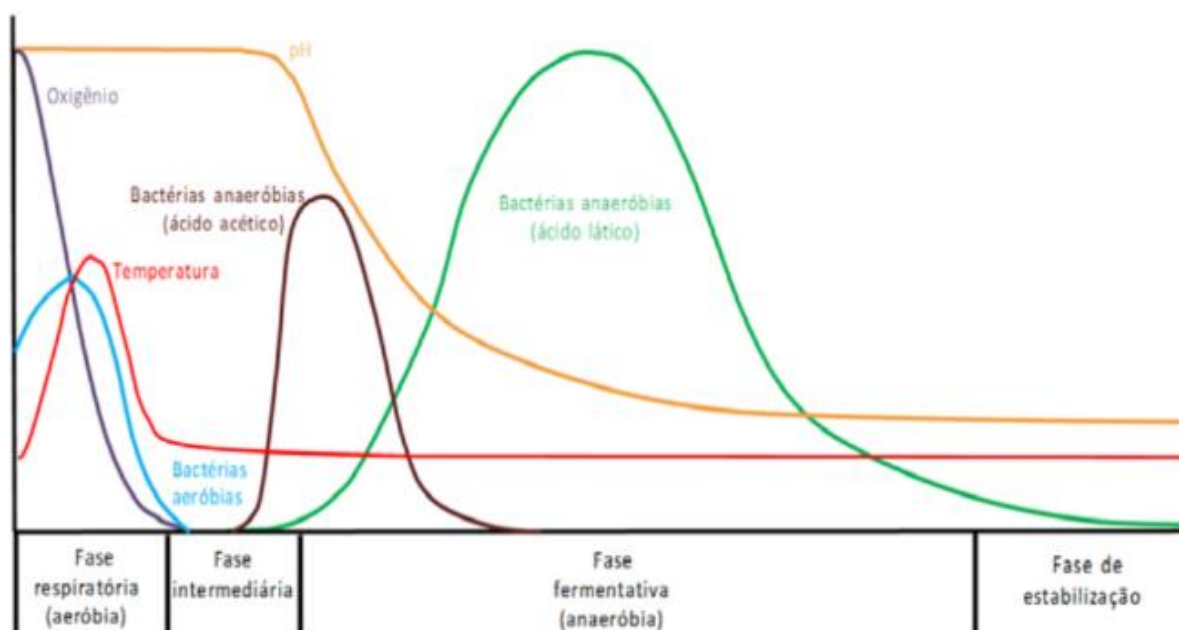
A técnica não apenas minimiza perdas de matéria seca, mas também encontra-se ao alcance de pequenos produtores (LIMA JÚNIOR et al., 2013), sendo adaptável a culturas como o capiaçu, que demandam soluções acessíveis para enfrentar períodos de estiagem.

A eficiência da silagem depende diretamente da microbiota autóctone e da seleção de inoculantes microbianos adequados. Muck (2010) ressalta que os inoculantes microbianos compreendem as bactérias homofermentativas, heterofermentativas, ou a combinação destas, sendo *Lactobacillus plantarum* a espécie mais utilizada comercialmente por sua capacidade de acidificação rápida. Essa sinergia entre características da planta e microrganismos assegura não apenas a conservação da biomassa, mas também sua qualidade energética, viabilizando seu uso sustentável em sistemas agropecuários.

2.3 Bioquímica da ensilagem

A conservação da silagem está relacionada à rápida queda do pH, o que garante melhor preservação do material. Esse processo depende da presença de açúcares solúveis que favorecem a fermentação láctica, conduzida por bactérias do gênero *Lactobacillus*. Inicialmente, ocorre uma fase aeróbica, em que o oxigênio

disponível é utilizado na respiração celular, resultando na liberação de dióxido de carbono, calor e água (GUIM, 2002).



Fonte:(OLIVEIRA,2001)

Embora inevitável no processo de ensilagem, a fase aeróbica deve ser reduzida ao máximo, pois sua prolongação provoca perdas significativas de matéria seca, especialmente carboidratos energéticos, essenciais tanto para as bactérias produtoras de ácido lático quanto para a nutrição animal. Além disso, o excesso de calor gerado pode comprometer a qualidade proteica da forragem, tornando-a menos digestível devido à reação de Maillard, que ocorre em temperaturas acima de 49 °C (SILVEIRA, 1975).

A fase anaeróbica da ensilagem inicia-se com o esgotamento do oxigênio, favorecendo o crescimento de microrganismos anaeróbicos, como enterobactérias e bactérias heterofermentativas. Esses microrganismos fermentam os açúcares presentes, produzindo ácidos como o acético e o lático, além de etanol e gás carbônico, promovendo a queda do pH. Essa acidificação do meio possibilita a predominância de bactérias homofermentativas, mais eficientes na produção de ácido lático, essencial para a rápida estabilização da silagem e sua conservação a longo prazo. O tempo de fermentação pode variar de acordo com a umidade e o teor de matéria seca do material (PEREIRA et al., 2008).

A fase de estabilização inicia-se quando o pH da silagem atinge níveis entre 3,8 e 4,2, o que inibe a atividade microbiana e interrompe os processos fermentativos,

mantendo a silagem estável até a reabertura do silo. Quanto mais rápido ocorre a queda do pH, maior a preservação dos nutrientes essenciais, como peptídeos e aminoácidos. O ácido láctico, predominante nas silagens de boa qualidade, é o principal responsável pela queda eficiente do pH e pela estabilidade do produto, enquanto o ácido acético, associado a cheiros mais fortes como o de vinagre, pode indicar fermentação prolongada e baixa disponibilidade de açúcares solúveis. Enterobactérias dominam nos primeiros dias, mas são substituídas por bactérias lácticas à medida que o pH se reduz. As lácticas são fundamentais por produzirem ácido láctico, crescerem rapidamente e inibirem outros microrganismos, garantindo uma fermentação eficaz. Já bactérias como o *Clostridium*, que podem prejudicar a qualidade da silagem, são controladas com a adequada redução do pH e concentração de ácidos não dissociados (GUIM, 2002; McDONALD et al., 1981).

2.4 Fatores Críticos para Silagem de Qualidade

2.4.1 Teor de Matéria Seca

A qualidade da silagem é influenciada por múltiplos fatores, entre os quais se destacam o teor de matéria seca (MS), a disponibilidade de carboidratos solúveis, a microbiota autóctone e o controle do pH durante a fermentação. Conforme Santos et al. (2010), o alto teor de matéria seca, a microflora epifítica equilibrada e a quantidade de carboidratos solúveis são características desejáveis para que ocorra um adequado processo fermentativo.

O teor ideal de umidade, entre 60% e 70%, é um dos parâmetros mais críticos para garantir uma fermentação eficiente e minimizar perdas na silagem. Valores abaixo desse intervalo resultam em dificuldades de compactação, favorecendo a penetração de oxigênio e o crescimento de microrganismos aeróbios, como fungos e leveduras, que degradam carboidratos e proteínas (MUCK, 2010).

Teores de umidade superiores a 70% aumentam o risco de efluentes, que carregam nutrientes solúveis e elevam o potencial de fermentações clostridiais, associadas à produção de ácido butírico e amônia, comprometendo o valor nutricional (PAHLOW et al., 2003). Plantas com baixo teor de matéria seca (MS), exigem a adição de substratos absorventes, como farelo de trigo, para ajustar a

umidade e evitar efluentes, estratégia validada por Nogueira (2015) e Silva et al., (2025) em estudos com silagens de palma forrageira com 10,33% de MS.

A umidade adequada favorece a atividade de bactérias lácticas homofermentativas, como *Lactobacillus plantarum*, que demandam água para metabolizar carboidratos solúveis e produzir ácido láctico, reduzindo rapidamente o pH para níveis inferiores a 4,2 (SANTOS et al., 2010).

Silagens com umidade dentro da faixa ideal permitem uma compactação eficaz, excluindo oxigênio residual e criando condições anaeróbias necessárias para dominância bacteriana desejável (CARVALHO et al., 2014). Alves (2018) demonstrou que cepas de *Weissella cibaria*, tolerantes a pH baixo e produtoras de ácido acético, são eficazes em silagens úmidas, inibindo leveduras mesmo em condições abaixo do determinado como ideal.

Em forragens mais secas, a suplementação com fontes de carbono solúvel, como melaço, pode ser recomendada para estimular a fermentação láctica, conforme observado por Ávila et al. (2014). Portanto, o monitoramento rigoroso da umidade, aliado a práticas de manejo e aditivos adequados, assegura não apenas a conservação da biomassa, mas também sua qualidade nutricional e energética

A capacidade tamponante da planta, relacionada à presença de mucilagem, desempenha papel crucial na regulação do pH, inibindo fermentações indesejáveis, como as alcoólicas. Muck (2010) reforça que a rápida acidificação da massa ensilada, promovida por bactérias homofermentativas como *Lactobacillus plantarum*, é essencial para suprimir microrganismos deletérios, como clostrídios e enterobactérias. Carvalho et al. (2014) complementam que a seleção de cepas específicas de bactérias lácticas adaptadas à forrageira otimiza a produção de ácidos orgânicos, garantindo maior estabilidade aeróbia pós-abertura do silo.

No caso do capiaçu, a presença de bactérias como *Weissella cibaria*, que produzem ácido acético em ambientes ácidos (ALVES, 2018), pode ser estratégica para reduzir perdas por deterioração. Por fim, a compactação adequada do material e a vedação hermética são práticas operacionais indispensáveis, pois, como destacado por Pahlow et al. (2003), a ausência de oxigênio no silo é determinante para limitar a atividade de fungos e leveduras, preservando o valor energético da forragem.

2.4.2 Compactação Adequada

A compactação eficiente da massa ensilada é fundamental para eliminar o oxigênio residual, criando um ambiente anaeróbico que favorece a fermentação láctica e inibe a atividade de microrganismos indesejáveis. Conforme Pahlow et al. (2003), a presença de oxigênio no silo está diretamente associada ao crescimento de fungos, leveduras e bactérias aeróbias, que consomem nutrientes e elevam as perdas de matéria seca por respiração e degradação térmica.

Para alcançar a densidade ideal (mínimo de 700 kg/m³), é necessário ajustar o tamanho de partícula do material. Silva et al. (2015) destacam que a palma forrageira, quando processada em cubos de 2x2 cm, permite maior homogeneidade e compactação, reduzindo espaços interparticulares que retêm ar.

A relação entre compactação e estabilidade aeróbia pós-abertura do silo também é crítica. Muck (2010) ressalta que silagens mal compactadas são mais susceptíveis à deterioração aeróbia, com perdas de até 30% da matéria seca nas camadas superficiais. Para mitigar esse risco, práticas como a camada dupla de lona plástica e o uso de peso uniforme sobre a massa são recomendadas.

Carvalho et al. (2014) observaram que a inoculação com *Lactobacillus plantarum* em silagens de cana-de-açúcar, combinada à compactação adequada, reduziu a população de leveduras em 90%, garantindo maior estabilidade. No contexto do capiaçu, a adoção de técnicas similares, aliada ao monitoramento da densidade por meio de penetrômetros, pode assegurar a manutenção das condições anaeróbias.

Ávila et al. (2014) complementam que a exclusão de oxigênio não apenas preserva nutrientes, mas também potencializa a ação de bactérias produtoras de ácido acético, como *Weissella cibaria*, que atuam como bioquímicos naturais contra a deterioração. Em síntese, a compactação rigorosa é um pilar indispensável para silagens de qualidade, integrando-se a demais fatores como umidade, microbiota e manejo pós-colheita.

2.4.3 Aditivos e seu Impacto na Fermentação

A aplicação de inoculantes microbianos é uma estratégia consolidada para otimizar o perfil fermentativo da silagem, especialmente em forrageiras com limitações naturais, como baixo teor de carboidratos solúveis ou alta capacidade tamponante. Inoculantes à base de *Lactobacillus plantarum*, por exemplo, aceleram a queda do pH ao produzirem ácido láctico de forma homofermentativa, suprimindo bactérias indesejáveis como *Clostridium* spp. (CARVALHO et al., 2014).

A inoculação com cepas autóctones de *Lactobacillus* aumentou a concentração de ácido láctico em 40%, reduzindo perdas de matéria seca para menos de 10% (ÁVILA et al., 2014). Alves (2018) identificou que a adição de *Weissella cibaria*, uma bactéria heterofermentativa, em massa ensilada de palma forrageira, elevou a produção de ácido acético para 594,60 mg/dm³, inibindo leveduras mesmo em silagens com pH abaixo de 4,0. Essa dupla ação — acidificação rápida e estabilidade aeróbia — torna os inoculantes combinados (homo e heterofermentativos) especialmente eficazes.

Ávila et al. (2014) recomendaram a aplicação de inoculantes combinados (ex.: *Lactobacillus plantarum* + *Lactobacillus buchneri*) para garantir acidificação rápida e produção de compostos antifúngicos.

A uréia, amplamente utilizada como aditivo químico, atua como fonte de nitrogênio não proteico, elevando o teor proteico da silagem e modulando a fermentação. Nogueira (2015) observou que a adição de 3% de uréia aumentou o teor de proteína bruta de 0,86% para 2,37%, além de reduzir o pH para 3,8, valor ideal para inibir clostrídios, em silagens de palma forrageira.

É sabido que o uso excessivo de uréia pode elevar a concentração de amônia (NH₃), que em níveis acima de 10% do nitrogênio total está associada à redução do consumo voluntário pelos animais (SANTOS et al., 2010). Para mitigar esse risco, recomenda-se a combinação com fontes de carbono de rápida assimilação, como melaço, que fornecem substrato para as bactérias ácido lácticas e equilibram a relação carbono-nitrogênio. Muck (2010) ressalta que "a uréia é particularmente útil em silagens de plantas com alta umidade, pois absorve parte da água livre e minimiza efluentes.

A seleção de aditivos deve considerar as características intrínsecas da forragem, os objetivos nutricionais e as condições operacionais, garantindo sinergia entre os componentes microbianos e químicos para maximizar a qualidade da silagem.

2.4.4 Efluentes e Crescimento de Fungos e Leveduras

As perdas por efluentes representam um dos principais desafios na ensilagem de plantas com alto teor de umidade, como a palma forrageira, cujo teor de matéria seca (MS) pode ser inferior a 15%. Esses efluentes, ricos em nutrientes solúveis como carboidratos e minerais, não apenas reduzem o valor nutricional da silagem, mas também aumentam o risco de fermentações indesejáveis, como as clostridiais, que produzem ácido butírico e amônia (MUCK, 2010).

Nogueira (2015) demonstrou que a adição de farelo de trigo (20% da matéria natural) reduz as perdas por efluentes em 50%, ao absorver água livre e fornecer substrato fibroso para compactação. A pré-murcha controlada da forragem também é uma alternativa válida para elevar o teor de MS acima de 30%, minimizando a lixiviação de nutrientes (PAHLOW et al., 2003).

Em casos extremos, silagens com efluentes excessivos podem exigir drenagem forçada, mas essa prática é complexa e raramente aplicável em pequenas propriedades, reforçando a importância de aditivos absorventes e manejo pré-ensilagem.

O crescimento de fungos e leveduras está frequentemente associado à má compactação, entrada de oxigênio ou umidade elevada, comprometendo a estabilidade aeróbia da silagem. Fungos do gênero *Aspergillus* e *Fusarium* não apenas degradam carboidratos e proteínas, mas também produzem micotoxinas, como a aflatoxina B1, que representam riscos à saúde animal e humana (CARVALHO et al., 2014).

Adicionalmente, a higienização dos equipamentos de corte e o uso de lonas plásticas UV-resistentes são práticas preventivas essenciais, principalmente em regiões onde a incidência solar intensa acelere a degradação dos materiais de

vedação. Em síntese, o controle integrado de umidade, oxigênio e microbiota é indispensável para superar esses desafios e assegurar silagens seguras e nutritivas.

2.5 Capiáu (*Pennisetum purpureum schum. cv. Capiáu*)

É uma cultivar resultante de um longo processo de melhoramento genético conduzido pela Embrapa Gado de Leite, com o objetivo de atender à crescente demanda por forrageiras de alta produtividade e qualidade nutricional. Essa variedade foi selecionada a partir de materiais coletados e testados em diversas condições edafoclimáticas, com foco especial em atributos como produção de matéria seca, qualidade da forragem e resistência a adversidades ambientais. De acordo com a Embrapa (2016), a seleção que resultou na BRS capiaçu priorizou características como porte elevado, elevado rendimento por hectare e estrutura adequada para ensilagem, o que a diferencia significativamente de outras cultivares do gênero *Pennisetum*. A Viver Grass (2023) reforça que essa variedade representa um avanço importante na história do capim-elefante no Brasil, sendo fruto de tecnologias modernas de melhoramento vegetal voltadas especificamente para as necessidades da pecuária de corte e leite em regiões de clima tropical e semiárido.

A adaptabilidade climática da BRS capiaçu é um de seus grandes diferenciais, permitindo seu cultivo em diversas regiões do país, inclusive em áreas com condições climáticas adversas, como o semiárido nordestino. Conforme destaca a Embrapa Gado de Leite (2020), a cultivar apresenta excelente tolerância a períodos de estiagem moderada, sendo capaz de manter produtividade satisfatória mesmo em solos com fertilidade mediana, desde que haja manejo adequado de correção e adubação.

Além disso, sua resistência natural a pragas e doenças comuns em pastagens tropicais reduz a necessidade de uso intensivo de defensivos agrícolas, tornando o cultivo da Capiáu uma alternativa sustentável e economicamente viável. A robustez do sistema radicular e a arquitetura foliar também contribuem para sua resiliência, promovendo a rápida recuperação após cortes e resistência ao acamamento, mesmo em condições de vento ou chuva intensa (EMBRAPA, 2016).

Outro aspecto agrônomo relevante é o seu ciclo de crescimento rápido e a elevada capacidade de rebrota. Segundo o Comunicado Técnico 79 da Embrapa Gado de Leite (2016), a BRS Capiáu pode atingir alturas superiores a 3 metros em

ciclos curtos de 60 a 80 dias, possibilitando até três cortes por ano em regiões com bom regime de chuvas ou irrigação complementar.

Essa característica confere alto rendimento anual por área cultivada, o que é fundamental para sistemas de produção intensiva de leite ou carne. A eficiência de rebrota é sustentada por reservas acumuladas nos colmos e raízes, aliadas a um manejo adequado de corte, que deve respeitar a altura mínima de resíduo para não comprometer a longevidade da planta. Nunes (2019) destaca ainda que o manejo ideal da Capiapu envolve a definição de épocas de corte que otimizem o balanço entre produtividade e qualidade nutricional, ajustando-se ao objetivo de uso, seja pastejo, fornecimento verde ou produção de silagem.

Com relação à sustentabilidade do sistema forrageiro, a capiaçu se consolida como uma alternativa estratégica para a alimentação animal, especialmente em regiões onde a produção de volumoso é limitada pela irregularidade das chuvas. A BRS capiaçu foi lançada oficialmente em um dia de campo realizado pela Embrapa em 2016, evento que marcou o início de sua ampla difusão entre produtores (EMBRAPA, 2016).

Desde então, sua adoção tem sido incentivada tanto por instituições públicas quanto privadas, como forma de garantir segurança alimentar para os rebanhos, reduzindo a dependência de insumos externos e promovendo a autonomia do produtor. A Vida Rural MT (2019) aponta que o melhoramento do capim-elefante no Brasil tem evoluído para atender exigências do mercado e do meio ambiente, e a capiaçu se insere nesse contexto como uma cultivar moderna, eficiente e adaptada à realidade do campo brasileiro.

O valor nutricional do capim-elefante BRS capiaçu é um dos fatores que mais justificam sua ampla adoção entre os produtores rurais. Uma de suas principais vantagens é o alto teor de fibra detergente neutra (FDN), elemento essencial para garantir uma boa fibra efetiva na dieta dos ruminantes, o que estimula a ruminação e a salivação, promovendo um ambiente ruminal saudável. Além disso, a relação folha/colmo da capiaçu, sobretudo quando manejada em cortes precoces, é superior à de outras cultivares tradicionais de capim-elefante, favorecendo maior digestibilidade e aproveitamento dos nutrientes. Conforme enfatiza a Embrapa Gado de Leite (2020), essa característica permite que a capiaçu ofereça um equilíbrio entre

volume e qualidade, sendo especialmente vantajosa para sistemas de produção que exigem elevado aporte de fibra, mas sem comprometer a ingestão voluntária do animal. A boa proporção de folhas, que têm menor teor de lignina em relação aos colmos, confere ao volumoso um valor nutricional mais homogêneo, especialmente quando se visa à ensilagem.

O teor de proteína bruta pode variar entre 8% e 12%, a depender das condições de solo, adubação e época de corte. Esses níveis são superiores aos observados em muitas outras variedades do mesmo gênero, conferindo ao Capiáu um diferencial competitivo em termos de suplementação proteica via forragem. Pezenti (2021) mostra que o uso de bioestimulantes pode potencializar esse índice, contribuindo para uma forragem mais rica e eficiente na dieta dos animais. Quando manejado corretamente, o Capiáu oferece proteína suficiente para atender parte significativa das exigências nutricionais de bovinos leiteiros em lactação, reduzindo a necessidade de complementação com concentrados, representando economia direta para o produtor (EMBRAPA, 2016).

O potencial energético do BRS capiaçu também merece destaque, com valores de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) que podem ser comparáveis aos do milho forrageiro, especialmente quando o capim é colhido em estágios jovens de desenvolvimento. A combinação de alta digestibilidade da matéria seca e boa concentração de carboidratos estruturais e não estruturais permite que a capiaçu seja utilizada com eficiência tanto no fornecimento verde quanto na produção de silagem de alta qualidade (EMBRAPA, 2016).

Conforme apresentado pela Embrapa Gado de Leite (2020), a silagem de capiaçu, quando bem ensilada e aditivada corretamente, pode apresentar teores de NDT próximos a 60%, o que a coloca como uma excelente alternativa ao milho, sobretudo em períodos de escassez ou aumento de preço do grão. O trabalho de Pezenti (2021) reforça essa vantagem, demonstrando que práticas de manejo e estímulo fisiológico da planta podem maximizar sua composição energética. Assim, o BRS capiaçu combina características agrônômicas e nutricionais que o tornam uma das opções mais completas de forrageira disponível atualmente para os sistemas pecuários brasileiros.

2.6 Comparação com outras forrageiras para silagem

A escolha da forrageira ideal para silagem depende de uma série de fatores, como custo de produção, valor nutricional, adaptabilidade às condições climáticas e facilidade de manejo. Nesse cenário, o milho (*Zea mays*) tem historicamente ocupado posição de destaque devido ao seu alto valor energético, excelente palatabilidade e digestibilidade, sendo amplamente utilizado em sistemas intensivos de produção animal. De acordo com CSJ (2023) e Aegro (2020), a silagem de milho apresenta, em geral, elevado teor de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT), entre 65% e 70%, sendo eficaz no fornecimento de energia para bovinos leiteiros e de corte.

No entanto, seu cultivo exige elevados investimentos em sementes, fertilizantes e defensivos, além de boa disponibilidade hídrica e condições climáticas favoráveis para um desenvolvimento adequado da planta. Tais limitações tornam o milho menos viável economicamente em regiões sujeitas a veranicos ou com solos de baixa fertilidade, o que impulsiona a busca por alternativas mais resilientes e de menor custo, como o BRS capiaçu.

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), por sua vez, é outra forrageira tradicionalmente utilizada para silagem, principalmente por seu elevado teor de carboidratos solúveis, o que favorece a fermentação e conservação do material ensilado. No entanto, essa mesma característica pode tornar-se um problema, já que a cana apresenta risco significativo de fermentações indesejadas, como a alcoólica, prejudicando a qualidade final da silagem e podendo comprometer o desempenho dos animais (NUTRIMOSAIC, 2022).

Além disso, o conteúdo de proteína bruta na cana é muito inferior ao das gramíneas tropicais, girando em torno de 2% a 4%, o que exige suplementações proteicas adicionais para garantir uma dieta balanceada. Quando comparada ao capiaçu, a cana perde em teor proteico, digestibilidade da fibra e produtividade por hectare, o que a torna menos competitiva em propriedades que visam maior autonomia alimentar e qualidade da dieta (NUTRIMOSAIC, 2022).

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma opção bastante utilizada em regiões semiáridas devido à sua alta tolerância à seca, facilidade de cultivo e menor exigência hídrica, fatores que o tornam uma alternativa ao milho em locais com clima mais adverso. Entretanto, conforme apontado por Pasto Extraordinário (2023), o sorgo

apresenta uma digestibilidade mais limitada, especialmente quando colhido em estágios avançados de maturação, devido ao aumento da lignificação do colmo.

Isso reduz o aproveitamento dos nutrientes pelos animais, comprometendo o desempenho zootécnico. Já o capim-elefante tradicional, ainda bastante presente em muitas propriedades, apresenta menor produtividade, teores de proteína bruta inferiores (geralmente entre 5% e 8%) e menor relação folha/colmo quando comparado ao BRS Capiáçu (EMBRAPA, 2016).

Este último se destaca por aliar alta produtividade (chegando a mais de 250 ton/ha/ano de massa verde), maior teor de proteína (8% a 12%) e fibra de melhor qualidade, o que o posiciona como uma das alternativas mais completas para a produção de silagem em larga escala, especialmente em regiões tropicais e subtropicais (EMBRAPA, 2016).

Quadro 1. Comparativa de Forrageiras para Silagem

Forrageira	Produtividade (ton/ha/ano)	Proteína Bruta (%)	NDT(%)	FDN(%)
BRS Capiáçu	50	8–12	60	65–70
Milho	40–60	7–8	68 – 72	60–65
Cana-de-açúcar	80–120	2–4	55	60–70
Sorgo	10–18	8–9	70	60–65
Capim-elefante tradicional	30–50	5–8	55	65–70

Fonte: Embrapa Gado de Leite (2016, 2020); Pezenti (2021); CSJ (2023); Nutrimosaic (2022); Aegro (2020).

A análise do quadro 1 evidencia que o BRS capiaçu supera as demais forrageiras em produtividade anual e teor de proteína bruta, alcançando de 250 a 300 t MV/ha/ano e 8–12 % de PB, enquanto o milho atinge apenas 40–60 t MS/ha/ano e 7–8 % de PB (Embrapa Gado de Leite, 2016; 2020; Pezenti, 2021). Apesar de o milho apresentar maior valor energético e palatabilidade, seu custo de produção (R\$ 5.000–6.500/ha) e forte dependência de condições climáticas favoráveis tornam-no menos competitivo em regiões de semiárido (CSJ, 2023; AEGRO, 2020).

A cana-de-açúcar, embora ofereça alto teor de carboidratos solúveis, possui baixo teor proteico (2–4 %) e risco de fermentação alcoólica (Nutrimosaic, 2022), enquanto o sorgo destaca-se pela resistência à seca, porém apresenta digestibilidade reduzida em estágios avançados (Pasto Extraordinário, 2023). Já o capim-elefante tradicional, com 80–120 t MS/ha/ano e 5–8 % de PB, mostra-se inferior ao Capiáu tanto em rendimento quanto em qualidade nutricional (EMBRAPA, 2016).

Dessa forma, o BRS capiaçu combina elevada produtividade, bom teor de fibra efetiva (65–70 % FDN) e proteína satisfatória, a um custo de produção intermediário (R\$ 2.400/ha), posicionando-se como a opção mais equilibrada para sistemas de produção de silagem em condições tropicais e semiáridas (EMBRAPA, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises da composição nutricional do Capiáçu (*Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiáçu) revelam características que o destacam como uma forrageira de alto valor energético e proteico. Estudos indicam teores de proteína bruta entre 8% e 12%, variando conforme a idade de corte e práticas de manejo (LARANJA et al., 2022). A relação folha/colmo, especialmente em cortes precoces (60-80 dias), favorece a digestibilidade da fibra, com valores de Fibra em Detergente Neutro (FDN) entre 65% e 70%, garantindo uma fibra efetiva que estimula a ruminação e a saúde digestiva dos animais (EMBRAPA, 2020). Além disso, sua composição de carboidratos estruturais e não estruturais confere energia digestível comparável ao milho, com Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) próximos a 60% em silagens bem processadas (PEZENTI, 2021).

Essa combinação de atributos posiciona o Capiáçu como uma alternativa nutricionalmente equilibrada, capaz de suprir parte significativa das exigências de bovinos leiteiros, podendo reduzir a dependência de suplementos proteicos e energéticos, conforme nível de produção do sistema pecuário.

O Capiáçu supera outras forrageiras tradicionais em produtividade e teor proteico (Tabela 1). O milho, embora apresente NDT mais elevado, apresenta custo de produção até três vezes maior e menor resiliência climática (CSJ, 2023; AEGRO, 2020). A cana-de-açúcar, por sua vez, possui apenas 2- 4% de proteína bruta e risco de fermentações alcoólicas, limitando seu uso sem suplementação (NUTRIMOSAIC, 2022).

O capim-elefante tradicional, com produtividade inferior (80-120 ton/ha/ano) e proteína bruta entre 5-8%, não compete com o capiaçu em eficiência agrônômica ou nutricional (EMBRAPA, 2016). Essa superioridade é reforçada pela capacidade do capiaçu de manter teores estáveis de matéria seca (25-30%) e carboidratos solúveis mesmo em condições de estresse hídrico, conforme demonstrado por Da Rosa et al. (2019), consolidando-o como a opção mais viável para sistemas de produção sustentáveis.

Sobre a qualidade da silagem de capiaçu, pode ser diretamente vinculada ao controle de umidade (60-70%), à compactação adequada (mínimo de 700 kg/m³),

composição da massa ensilada, dentre outros fatores. A adição de farelos, para elevação do teor de matéria seca ou pré-murcha controlada são estratégias validadas por Nogueira (2015) para ajustar a umidade na massa ensilada. Quanto à compactação, o processamento em partículas de 2-3 cm, aliado ao uso de silos bem vedados com lonas UV-resistentes, minimiza espaços interparticulares e a entrada de oxigênio, conforme observado por Silva et al. (2015). A inoculação com *Lactobacillus buchneri*, combinada à compactação rigorosa, reduz perdas de matéria seca para menos de 10%, garantindo estabilidade aeróbia pós-abertura (ÁVILA et al., 2014).

Essas práticas, integradas ao manejo adequado de corte (altura residual de 20-30 cm), consolidam o capiaçu como uma biomassa energética de alta qualidade, capaz de substituir culturas tradicionais com vantagens econômicas e ambientais (ÁVILA et al., 2014).

Com a silagem do capiaçu teve uma maior aceitabilidade, Oliveira et al. (2023) revelaram que o consumo médio diário de matéria seca (CMS) atingiu 3,2% do peso vivo, valor superior ao observado em dietas à base de silagem de milho (2,8%), devido à maior palatabilidade e equilíbrio entre fibra e energia. A digestibilidade da matéria orgânica (DMO) variou entre 65% e 68%, reflexo da menor lignificação da fibra (FDN de 65-70%) e da alta proporção de folhas, que facilitam a degradação ruminal (Iaranja et al., 2022), em ensaios com novilhos de corte.

Pezenti (2021) registrou ganhos de peso médios de 1,2 kg/dia em dietas com 70% de silagem de Capiáçu, equiparando-se ao desempenho obtido com silagem de sorgo (1,1 kg/dia) e superando a cana-de-açúcar (0,8 kg/dia). Esses resultados estão associados ao teor de NDT (aproximadamente 60%) e ao teor de proteína bruta (8 - 12%), que reduzem a necessidade de suplementação concentrada.

O cultivo do capiaçu apresenta vantagens econômicas significativas frente a outras culturas tradicionais. Conforme a Tabela 1, seu custo de produção (R\$ 2.400/ha) é 53% menor que o do milho (R\$ 5.000-6.500/ha), aliado a uma produtividade até seis vezes superior (250-300 ton/ha/ano vs. 40-60 ton/ha/ano do milho), o que reduz o custo por tonelada de matéria seca em 40% (EMBRAPA, 2016; CSJ, 2023).

Essa eficiência é amplificada em regiões semiáridas, onde a resistência à seca do Capiáçu diminui perdas e dispensa irrigação intensiva (Da Rosa et al., 2019). Do

ponto de vista ambiental, a cultivar reduz a dependência de fertilizantes nitrogenados, graças à fixação biológica de nutrientes por microrganismos associados às raízes, e promove a ciclagem de resíduos agroindustriais quando utilizado em sistemas integrados (GOLDENBERG et al., 2009).

Além disso, sua alta produtividade por área diminui a pressão por desmatamento, enquanto a baixa emissão de metano entérico (20-30% menor que dietas baseadas em cana) contribui para a mitigação de gases de efeito estufa (Da Silva et al., 2021). A adoção do Capiáu, portanto, alinha produtividade, redução de custos e sustentabilidade, consolidando-o como uma alternativa estratégica para a pecuária tropical.

Quadro 2 – Referências Analisadas

Autores	Ano	Título/Contribuição
De Oliveira, H. B. et al.	2023	Silagem de Capiáu na alimentação de bovinos leiteiros: desempenho produtivo e digestibilidade.
Laranja, L. S. et al.	2022	Teores de matéria seca e proteína bruta do Capiáu em função da idade de corte.
Pezenti, E.	2021	Uso de bioestimulantes para potencialização energética do Capiáu.
Embrapa	2016	BRS Capiáu: Produtividade, manejo e viabilidade econômica para silagem.
Da Rosa, P. P. et al.	2019	Adaptabilidade climática e redução de insumos no cultivo do Capiáu.
Goldenberg, J.	2009	Biomassa como recurso renovável e seu papel na sustentabilidade agropecuária.

Autores	Ano	Título/Contribuição
Da Silva, S. P. et al.	2021	Impacto ambiental da biomassa na matriz energética brasileira.
Santos, E. M. et al.	2010	Fatores que afetam a qualidade fermentativa de silagens tropicais.

De Oliveira et al. (2023) e Laranja et al. (2022) fornecem dados concretos sobre consumo, digestibilidade e teores nutricionais, corroborando a eficiência do Capiáu na alimentação de ruminantes. Já trabalhos como o de Pezenti (2021) e Embrapa (2016) reforçam a viabilidade técnica e econômica da cultivar, ao relacionarem seu alto rendimento e baixo custo de produção com ganhos zootécnicos significativos.

A contribuição de Goldenberg (2009) e Da Silva et al. (2021) contextualiza o papel estratégico da biomassa na sustentabilidade agropecuária, evidenciando a redução de emissões e a integração com práticas ambientais.

A diversidade temporal das referências (2009–2023) reflete tanto a consolidação histórica quanto a atualidade do tema, enquanto a organização clara da tabela permite uma visão integrada das múltiplas dimensões (nutricional, econômica, ambiental) analisadas. Essa estrutura não apenas valida as conclusões apresentadas, mas também orienta futuras pesquisas ao identificar lacunas e tendências no uso do capiaçu como alternativa forrageira.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O BRS Capiáu vem se consolidando como uma alternativa viável e estratégica para a produção de silagem de qualidade, reunindo atributos que o destacam frente a culturas tradicionais. Sua alta produtividade, aliada a teores nutricionais equilibrados, garantem uma fonte alimentar eficiente para ruminantes, capaz de suprir demandas energéticas e proteicas sem exigir suplementação intensiva.

A adaptabilidade a condições climáticas adversas, como solos de média fertilidade e períodos de seca, reduz a dependência de insumos externos e estabiliza a produção mesmo em regiões onde haja escassez hídrica, enquanto sua eficiência fermentativa, com controle rigoroso de pH e baixas perdas por deterioração, assegura a conservação nutricional da silagem. Essas características, somadas a custos de cultivo inferiores aos do milho e à capacidade de mitigar emissões de metano entérico, posicionam o Capiáu como uma solução integrada para sistemas pecuários sustentáveis.

Em resposta ao problema central da pesquisa, conclui-se que o Capiáu não apenas atende, mas supera expectativas como biomassa energética para silagem. Os resultados demonstram que sua utilização promove ganhos de peso equivalentes ou superiores a outras forrageiras, com destaque para a digestibilidade elevada e a redução de distúrbios digestivos em ruminantes.

Economicamente, a combinação entre alta produtividade por hectare e custos operacionais reduzidos viabiliza seu cultivo em escalas diversificadas, desde pequenas propriedades até empreendimentos intensivos. Ambientalmente, sua capacidade de ciclagem de nutrientes e menor demanda por recursos hídricos reforçam seu papel na transição para uma pecuária de baixo carbono, alinhando produtividade à preservação ecossistêmica.

Apesar dos avanços, o estudo enfrentou limitações, como a escassez de pesquisas de longo prazo sobre o impacto do capiaçu em categorias específicas de animais — como vacas em lactação ou bezerros — e a carência de dados regionais detalhados, principalmente em biomas como o Cerrado e a Caatinga. Além disso, a maioria das análises disponíveis prioriza aspectos agrônômicos e nutricionais, deixando lacunas sobre dinâmicas microbiológicas em silagens aditivadas e impactos socioeconômicos em comunidades rurais.

Para superar essas lacunas, recomenda-se a realização de ensaios práticos que avaliem o desempenho zootécnico em diferentes fases produtivas, assim como estudos comparativos em variedades de solos e climas. Análises de ciclo de vida para quantificar a redução da pegada de carbono e políticas públicas que incentivem a adoção do capiaçu em programas de agricultura sustentável são passos essenciais para consolidar seu potencial como pilar da segurança alimentar e da resiliência climática no setor agropecuário. Dessa forma, a pesquisa fornecerá informações relevantes para produtores, pesquisadores e formuladores de políticas agrícolas interessados em estratégias eficientes para a nutrição e manejo sustentável de ruminantes.

5 REFERÊNCIAS

- AEGRO. **Tudo que você precisa saber sobre milho para silagem.** 2020.
- CARVALHO, B. F. et al. **Microbiological and chemical profile of sugar cane silage fermentation inoculated with wild strains of lactic acid bacteria.** *Animal Feed Science and Technology*, v. 195, p. 1-13, 2014.
- CSJ. **Silagem de milho: Vale a pena produzir?.** 2023.
- DA SILVA, Simão Pereira et al. **A importância da biomassa na matriz energética brasileira.** *Pensar Acadêmico*, v. 19, n. 2, p. 557-583, 2021.
- DA ROSA, Patrícia Pinto et al. **Características do Capim Elefante Pennisetum purpureum (Schumach) e suas novas cultivares BRS Kurumi e BRS Capiacu.** *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 25, n. 1/2, p. 70-84, 2019.
- DE LIMA VALENÇA, Roberta et al. **Silagem de bagaço de laranja pré-seco e a sua utilização na alimentação de ruminantes – Revisão.** *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 15, n. 1, p. 68-73, 2016.
- DE MIRANDA, Ronaldo Leão; MARTINS, Eliane Maria; LOPES, Kamila. **A potencialidade energética da biomassa no Brasil.** *Desenvolvimento Socioeconômico em Debate*, v. 5, n. 1, p. 94-106, 2019.
- DE OLIVEIRA, HYAGO BORGES; CABRAL, Simeonny Pereira; SILVA, DANIEL DE HOLANDA. **Silagem de capiaçu na alimentação de bovinos leiteiros.** *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 12, n. 1, 2023.
- DOS REIS, Luis Fernando; DOS SANTOS, Robinson; DE OLIVEIRA GOMES, Lucas. **BIOMASSA: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO-CANA-DE-AÇÚCAR NA GERAÇÃO DE ENERGIA.** In: Congresso de Tecnologia-Fatec Mococa, 2023.
- EMBRAPA. **Comunicado Técnico 79: Capim-elefante BRS Capiacu: alternativa de forragem para o semiárido brasileiro.** 2016.
- EMBRAPA. **Em dia de campo, Embrapa lança nova cultivar de capim-elefante.** 2016.
- EMBRAPA. **Gado de Leite. BRS Capiacu e BRS Kurumi: cultivo e uso.** 2020.
- GOLDEMBERG, José. **Biomassa e energia.** *Química Nova*, v. 32, p. 582-587, 2009.

GUIMARÃES FILHO, Cesar Conte; MONTEIRO, Keithon Damásio; DEMINICIS, Bruno Borges. **Utilização de silagem de capim para alimentação de ruminantes.** Pubvet, v. 5, n. 36, 2011.

GUIM, A. **Produção e avaliação de silagem.** In: SIMPÓSIO PO DE FORRAGEIRAS NATIVAS, 3., 2002. Anais... Areia:UFPB, 2002. CD-ROM.

LARANJA, L. S. et al. **Teores de matéria seca e proteína bruta do Pennisetum purpureum schum cv. BRS Capiacu em função da idade de corte.** Ars Veterinaria, v. 38, n. 4, p. 149-152, 2022.

LIMA JÚNIOR, D. M. et al. **Silagem para vacas leiteiras no semiárido.** Agropecuária Científica no Semiárido, v. 9, n. 2, p. 33-42, 2013.

MANTOVANI, Leandro Paloma et al. **Biomassa e energia.** Revista Agronomia Brasileira, v. 6, p. 1-10, 2022.

McDONALD, P. **The biochemistry of silage.** New York: John Willey & Sons, 1981. 226 p.

MUCK, R. E. **Silage microbiology and its control through additives.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, p. 183-191, 2010.

NOGUEIRA, M. S. **Perfil fermentativo e composição química de silagens de palma forrageira enriquecidas com fontes proteica, energética e fibrosa.** 2015. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.

NUTRIMOSAIC. **Silagem de milho: O que é e para que serve?.** 2022.

NUNES, V. **Desempenho de cultivares e épocas de corte de capim-elefante.** 2019.

PAHLOW, G. et al. **Microbiology of ensiling.** In: BUXTON, D. R. et al. (Eds.). Silage science and technology. Madison: ASA, 2003. p. 31-93.

PASTO EXTRAORDINÁRIO. **Silagem de milho: Nutrição eficiente para gado.** 2023.

PEREIRA, Ricardo Gomes de Araújo; TOWNSEND, Claudio Ramalho; COSTA, Newton de Lucena; MAGALHÃES, João Avelar. **Processos de ensilagem e plantas a ensilar.** Porto Velho, RO: Embrapa, 2008.

PEZENTI, E. **Uso de bioestimulantes em capim-elefante Pennisetum purpureum Schum. cv. BRS Capiacu.** 2021.

SANTOS, E. M. et al. **Fatores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais.** Archivos de Zootecnia, v. 59, p. 25-43, 2010.

SILVA, A. P. G. et al. **Características físicas, químicas e bromatológicas de palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea cochenillifera*) oriundas do estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, v. 9, n. 2, 2015.

SILVEIRA, A. C. **Técnicas para produção de silagens** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 2., 1975, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ, 1975. p. 156-180.

VIDA RURAL MT. **O melhoramento genético do capim-elefante no Brasil.** 2019.

VIVER GRASS. **BRS Capiacu - Sua história e evolução.** 2023.