

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PEDRO DE CAMARGO

POTENCIAL DA BENZO HIDRAZIDA NA QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO

PATO BRANCO

2025

JOÃO PEDRO DE CAMARGO

POTENCIAL DA BENZOHIDRAZIDA NA QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO

Potential of Benzohydrazide in Corn Silage Quality

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia do Curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Caio Seiti Takiya

PATO BRANCO

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOÃO PEDRO DE CAMARGO

POTENCIAL DA BENZO HIDRAZIDA NA QUALIDADE DA SILAGEM DE MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia do Curso de
Bacharelado em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 11/novembro/2025

Caio Seiti Takiya

Doutorado em Animal Science pela Kansas State University, Estados Unidos(2020)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jeferson de Medeiros Matt

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Régis Luis Missio

Doutorado em Zootecnia pela Unesp, Jaboticabal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me acompanhado ao longo dessa jornada, me dando forças e perseverança.

Aos meus pais e familiares, por todo o incentivo, carinho e compreensão. Seus apoios incondicionais foram essencial para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Caio Seiti Takiya, por sua paciência, orientação e por compartilhar seu conhecimento, contribuindo significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de curso, que tornaram essa trajetória mais leve e enriquecedora com o compartilhamento de ideias, apoio mútuo e amizade.

Aos responsáveis pelo experimento e às pessoas que contribuíram com a pesquisa, meu sincero agradecimento pelo suporte técnico e científico, que possibilitou a realização deste estudo.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho, meu muito obrigado!

RESUMO

O milho é uma das culturas mais importantes para a produção de silagem, sendo um alimento volumoso essencial para a nutrição de ruminantes devido ao seu elevado valor energético e boa conservação. No entanto, um fator limitante é a presença da lignina na parede celular das plantas, um polímero fenólico que confere resistência, limitando a degradação dos carboidratos estruturais pela microbiota do rúmen. A BHZ tem potencial para promover a sacarificação da lignocelulose, aumentando a disponibilidade de açúcares fermentáveis e podendo interferir na via de síntese da lignina, o que favoreceria a digestibilidade das frações fibrosas. O objetivo geral do trabalho foi avaliar o potencial da aplicação de benzohidrazida em diferentes concentrações sobre a qualidade da silagem de milho. O experimento foi realizado na área experimental da UTFPR, Campus Pato Branco, na safra 2024/2025. O delineamento será em blocos casualizados com arranjo unifatorial, testando três tratamentos: Benzohidrazida nas concentrações de 50, 500 μM e um Controle, em quatro blocos com duas repetições de cada tratamento. As plantas serão colhidas manualmente no estágio R5, a forragem picada, tratada com BHZ e compactada em 24 silos experimentais de PVC. As avaliações incluirão: Composição química, digestibilidade, fermentação e microbiologia da silagem. Os resultados mostraram que a aplicação da benzohidrazida não causou alterações significativas nos principais constituintes bromatológicos, incluindo o teor de lignina. No entanto, o tratamento com BHZ na dose mais alta levou a um aumento significativo na digestibilidade *in vitro* da matéria seca em 48 horas (DIVMS48), que subiu de 79,9% para 82,0%. Conclui-se que, apesar de não alterar o teor quantitativo de lignina, a benzohidrazida melhora a digestibilidade dos carboidratos estruturais da silagem de milho, indicando um potencial promissor para otimizar o aproveitamento energético do volumoso na nutrição animal.

Palavras-chave: milho; silagem; nutrição; benzohidrazida; lignina.

ABSTRACT

Corn is one of the most important crops for silage production, being an essential roughage feed for ruminant nutrition due to its high energy value and good preservation characteristics. However, a limiting factor is the presence of lignin in the plant cell wall, a phenolic polymer that provides rigidity but limits the degradation of structural carbohydrates by the rumen microbiota. BHZ has the potential to promote lignocellulose saccharification, increasing the availability of fermentable sugars and potentially interfering with the lignin synthesis pathway, which would enhance fiber fraction digestibility. The general objective of this study was to evaluate the potential of benzohydrazide application at different concentrations on corn silage quality. The experiment was carried out in the experimental area of UTFPR, Pato Branco Campus, during the 2024/2025 growing season. The design was a randomized block with a unifactorial arrangement, testing three treatments: benzohydrazide at concentrations of 50 and 500 μM , and a control, in four blocks with two replications. Plants were harvested manually at the R5 stage, the forage was chopped, treated with BHZ, and compacted into 24 experimental PVC silos. The evaluations included: chemical composition, digestibility, fermentation, and microbiology of the silage. The results showed that benzohydrazide application did not cause significant changes in the main bromatological components, including lignin content. However, the BHZ treatment at the highest dose led to a significant increase in in vitro dry matter digestibility at 48 hours (IVDMD48), which rose from 79.9% to 82.0%. It is concluded that, although it does not alter the quantitative lignin content, benzohydrazide improves the digestibility of structural carbohydrates in corn silage, indicating promising potential to optimize the energetic utilization of roughage in animal nutrition.

Keywords: corn; silage; nutrition; benzohydrazide; lignin.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de fermentação da silagem nos tratamentos controle (CON) e suplementados com benzohidrazida (BHZ-50 e BHZ-500).	24
Tabela 2 – Composição e parâmetros avaliados nos tratamentos controle (CON) e suplementados com benzohidrazida (BEN-50 e BEN-500)	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

BZH	Benzohidrazida
μM	Micrômetro
MS	Matéria Seca
PB	Proteína Bruta
FDN	Fibra em Detergente Neutro
FDA	Fibra em Detergente Ácido
MM	Matéria Mineral
CNF	Carboidratos Não Fibrosos
EE	Extrato Etéreo
DIVMS48	Digestibilidade <i>in vitro</i> da Matéria Seca em 48 horas
NH eqprot	Nitrogênio Amoniacal Equivalente Proteico
WSC	Carboidratos Solúveis (<i>Water Soluble Carbohydrates</i>)
TN	Nitrogênio Total
NFC	Carboidratos Não Fibrosos (<i>Non-Fiber Carbohydrates</i>)
PNDR	Proteína Não Degradável no Rúmen
PIDA	Proteína Insolúvel em Detergente Ácido
PIDN	Proteína Insolúvel em Detergente Neutro
NEL	Energia Líquida para Lactação
NDT	Nutrientes Digestíveis Totais
Acord	Acidez Corrigida
DIVFDN240	Digestibilidade <i>in vitro</i> da FDN em 240 horas
DIVFDN120	Digestibilidade <i>in vitro</i> da FDN em 120 horas
DIVFDN30	Digestibilidade <i>in vitro</i> da FDN em 30 horas

DIVMS30	Digestibilidade <i>in vitro</i> da Matéria Seca em 30 horas
DIVMS24	Digestibilidade <i>in vitro</i> da Matéria Seca em 24 horas
LigninaPerFDN	Lignina em percentagem da Fibra em Detergente Neutro
aCBUT	Capacidade de Tamponamento do Ácido Butírico
aFDNOm	FDN em percentagem da Matéria Orgânica
AG	Ácidos Graxos
FDNi120	FDN Indigestível em 120 horas
FDNi30	FDN Indigestível em 30 horas
Acace	Ácido Acético
AcLat	Ácido Lático
DigAmi7h	Digestibilidade do Amido em 7 horas
PDR	Proteína Degradável no Rúmen
PIDAPerPB	PIDA em percentagem da Proteína Bruta
PIDNPerPB	PIDN em percentagem da Proteína Bruta
PS	Polissacarídeos
Mg	Magnésio
K	Potássio
P	Fósforo
Ca	Cálcio
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.2	Justificativa	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Importância do milho	12
2.2	Silagem de milho	13
2.3	Situação econômica	14
2.4	Bromatologia	16
2.5	Lignina	17
2.6	Benzohidrazida	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Tratamentos	21
3.2	Manejo	21
3.3	Avaliações	22
3.4	Análise estatística	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura amplamente cultivada em diversas regiões do mundo e, tem se consolidado como uma das principais espécies agrícolas do Brasil, sendo destinado tanto à alimentação humana quanto animal (Medina, 2020). O potencial do Brasil para o cultivo de milho está diretamente relacionado às condições edafoclimáticas favoráveis presentes na maior parte do território nacional. Em determinados estados, o milho é cultivado como cultura principal ou até mesmo como terceira safra. Entretanto, a maior parcela da produção nacional provém do cultivo realizado após a colheita da soja, o milho safrinha, que corresponde à principal forma de produção do cereal no país, especialmente na região Centro-Oeste (Conab, 2023).

Destacando-se mundialmente como a principal cultura destinada à produção de silagem, o milho apresenta diversas vantagens agronômicas, nutricionais e econômicas que justificam sua preferência frente a outras forrageiras utilizadas em sistemas de produção animal (Cruz; Filho; Neto, 2021; Mizubuti *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2021). Dentre os volumosos conservados, a silagem de milho é referência dada sua alta produtividade de matéria seca, valor energético elevado, ampla adaptabilidade a diferentes condições climáticas, facilidade de cultivo, aceitabilidade pelos animais, além de permitir o fornecimento de alimento de qualidade durante períodos críticos de escassez forrageira, assegurando estabilidade produtiva e econômica nas propriedades rurais (Cruz; Filho; Neto, 2021; Silva *et al.*, 2015; Rezende *et al.*, 2015).

A nutrição de ruminantes constitui um processo altamente complexo e interdependente, sustentado pela ação coordenada de uma diversificada comunidade microbiana presente no rúmen, em que essa simbiose permite que os animais aproveitem de forma eficiente a biomassa vegetal fibrosa, convertendo-a em nutrientes essenciais para a manutenção, crescimento e produção (Clauss; Hummel, 2017). Entretanto, a lignina, componente estrutural das plantas, atua como um fator antinutricional relevante, limitando a degradação dos carboidratos estruturais, principalmente a celulose e a hemicelulose. A deposição de lignina nas paredes celulares vegetais confere rigidez e resistência à degradação, funcionando como uma barreira física e química que restringe o acesso das enzimas microbianas aos polissacarídeos fermentáveis, comprometendo, assim, a digestibilidade e a eficiência do aproveitamento da forragem (Mujtaba *et al.*, 2023).

Vários aditivos de silagem vêm sendo utilizados nas duas últimas décadas com o objetivo de proporcionar condições favoráveis à máxima recuperação da energia deste alimento, com subsequente ganho no desempenho animal. A benzohidrazida (BHZ) é um composto derivado do ácido benzoico que atua como modulador da síntese de compostos lignocelulósicos nas plantas, e segundo estudos tem se demonstrado que sua aplicação foliar pode promover a sacarificação da lignocelulose, aumentando a disponibilidade de açúcares fermentáveis (Martaello *et al.*, 2021). Compostos com essa estrutura química interferem na via dos fenilpropanoides, reduzindo a biossíntese de lignina e, conseqüentemente, favorecendo a digestibilidade das

frações fibrosas, o que pode resultar em melhor aproveitamento energético dos volumosos na nutrição animal.

A benzohidrazida (BHZ) tem demonstrado potencial para induzir a sacarificação da lignocelulose sem comprometer a produtividade das culturas, devido a sua alta bioatividade, isso ocorre porque a BHZ pode ser sintetizada a partir de precursores aromáticos, originando compostos benzóicos análogos aos metabólitos da via do fenilpropanoide, capazes de interferir na síntese de lignina. Ensaio realizados *in vitro* e em condições de campo mostraram que plantas jovens de milho, com 36 dias após a semeadura, submetidas à aplicação foliar de BHZ nas concentrações de 50 e 500 μM e colhidas aos 100 dias, apresentaram aumento significativo na sacarificação da lignocelulose, aproximadamente 46% no caule e 33% nas folhas na dose mais elevada Ma *et al.* (2016). Esses resultados indicam que a BHZ pode atuar como um regulador metabólico promissor para aumentar a eficiência na conversão de biomassa vegetal, com possíveis aplicações tanto na produção de etanol quanto na melhoria da digestibilidade de forragens ensiladas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial da aplicação de benzohidrazida em diferentes concentrações sobre a qualidade da silagem de milho.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar o efeito da aplicação foliar de benzohidrazida em concentrações de 50 μM e 500 μM , sobre o teor de lignina na ensilagem;

Determinar a degradabilidade *in vitro* da silagem produzida;

Comparar os efeitos das diferentes concentrações de benzohidrazida sobre os parâmetros de qualidade nutricional e fermentativo da silagem de milho;

1.2 Justificativa

A crescente preocupação em garantir o fornecimento de alimento volumoso aos rebanhos, especialmente durante o período seco do ano, tem impulsionado o uso da silagem como uma boa fonte de alimentação para os ruminantes. O milho destaca-se como a principal opção, em razão de seu elevado rendimento de massa verde, boa qualidade nutricional e excelente conservação após o processo de ensilagem. Além disso, o cereal apresenta vantagens como

baixo custo operacional de produção e alta aceitação pelos animais, consolidando-se como uma das forrageiras mais utilizadas para a produção de silagem (Cruz; Filho; Neto, 2021).

Entre os diversos constituintes da parede celular das plantas, destaca-se a lignina, que é um polímero fenólico de estrutura complexa, caracterizado por uma arquitetura tridimensional que confere elevada resistência à degradação microbiana (Delmer *et al.*, 2024). Essa característica, exerce impacto direto sobre a nutrição dos ruminantes, uma vez que o alto teor de lignina limita a digestibilidade e, conseqüentemente, reduz a eficiência de aproveitamento dos nutrientes da dieta.

Contudo, é importante investigar o uso da benzohidrazida, pois mostra um potencial em promover o aumento da sacarificação da lignina em plantas, o que indica perspectivas promissoras para sua aplicação no setor agropecuário. A adoção dessa tecnologia pode ocasionar a redução do teor de lignina na silagem de milho tendendo a melhorar a eficiência alimentar dos animais, resultando também em um menor custo com alimentação e maior produtividade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais antigas e relevantes do mundo, tendo origem nas civilizações mesoamericanas, onde desempenhava papel central na alimentação, na cultura e até na religiosidade dos povos pré-colombianos (Piperno, 2011). No Brasil, sua introdução remonta ao período colonial, sendo rapidamente incorporado à dieta alimentar e aos sistemas produtivos indígenas e rurais, consolidando-se como um dos pilares da agricultura nacional (Embrapa, 2020). Atualmente, o milho ocupa posição estratégica no agronegócio brasileiro, não apenas pela sua ampla distribuição geográfica e adaptabilidade às condições edafoclimáticas, mas também por sua importância econômica, social e cultural. O cereal é cultivado em praticamente todas as regiões do país, com destaque para o Centro-Oeste, que concentra a maior parte da produção, especialmente na modalidade de segunda safra, conhecida como milho safrinha (Conab, 2023).

A relevância do milho transcende sua função como alimento direto, pois constitui a base da cadeia produtiva de proteínas animais, sendo insumo essencial para a avicultura e a suinocultura, setores nos quais o Brasil figura entre os maiores exportadores mundiais (Silva; Gomes, 2019). Além disso, o cereal é utilizado na indústria de biocombustíveis, na produção de etanol de milho e em diversos segmentos industriais, o que amplia sua importância estratégica para a economia nacional (Silva *et al.*, 2018). O avanço tecnológico em sementes híbridas e transgênicas, aliado ao uso de práticas modernas de manejo e mecanização, tem permitido ganhos expressivos de produtividade, colocando o Brasil entre os três maiores produtores e exportadores globais, ao lado dos Estados Unidos e da Argentina (Fao, 2021).

Dados recentes da Companhia Nacional de Abastecimento indicam que a produção brasileira ultrapassou 130 milhões de toneladas, configurando-se como a maior já registrada na série histórica (Conab, 2023). O estado de Mato Grosso, principal produtor nacional, responde por quase metade da produção da segunda safra, com estimativas superiores a 50 milhões de toneladas, evidenciando a centralidade da região Centro-Oeste na dinâmica produtiva do cereal (Conab, 2023). Esse desempenho reforça a competitividade brasileira no mercado internacional, garantindo divisas e fortalecendo a balança comercial agrícola.

Do ponto de vista social, o milho desempenha papel fundamental na geração de emprego e renda, especialmente em pequenas e médias propriedades, além de integrar a base alimentar de milhões de brasileiros, seja no consumo direto, como farinha, canjica, pamonha e outros derivados, seja de forma indireta, por meio da carne, leite e ovos produzidos a partir de animais alimentados com rações à base do grão (Embrapa, 2020). Culturalmente, o milho também se destaca como elemento simbólico em festas populares, como as festas juninas, reforçando sua presença no imaginário coletivo nacional (Piperno, 2011).

Portanto, o milho no Brasil não deve ser compreendido apenas como uma commodity agrícola, mas como um elemento multifuncional que articula dimensões históricas, culturais, sociais, econômicas e ambientais. Sua importância está ancorada tanto nos volumes expressivos de produção e exportação quanto em sua capacidade de sustentar cadeias produtivas, garantir segurança alimentar e consolidar o país como potência agrícola global (Fao, 2021; Embrapa, 2020; Conab, 2024).

2.2 Silagem de milho

O milho tem se destacado como a principal cultura utilizada para a produção de silagem, uma vez que sua biomassa apresenta grande relevância, sendo tão importante quanto a produção de grãos. Tal característica é essencial, considerando que a criação animal representa uma parte significativa dos sistemas de subsistência da população. Além disso, existem híbridos de milho que apresentam boa adaptação a condições de clima mais quente, ampliando seu potencial de cultivo em diferentes regiões (Paula; Ferreira; Vêras, 2020).

Nesse contexto, a importância do milho para a produção de silagem reside primeiramente em sua elevada produtividade por unidade de área, resultando tanto em grande volume de massa verde como em alta proporção de grãos, componentes determinantes do valor nutricional do volumoso ensilado (Cruz; Filho; Neto, 2021). Cultivares híbridas comerciais, frequentemente recomendadas para silagem, foram selecionadas para características como prolificidade, maior proporção de grãos dentados (melhor digestibilidade), resistência a pragas e doenças, além de ciclo vegetativo e porte adequados à finalidade de produção de volumoso (Cruz; Filho; Neto, 2021). Estudos comparativos evidenciam que, entre as diversas espécies ensiláveis, o milho fornece a melhor relação entre quantidade e qualidade de nutrientes por unidade de área cultivada, destacando-se também pela regularidade no processo fermentativo em função do teor de carboidratos solúveis e do baixo poder tampão da planta, aspectos fundamentais para obtenção de silagens de alta estabilidade e palatabilidade (Mizubuti *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2010; Cruz; Filho; Neto, 2021).

A ensilagem consiste em uma técnica de conservação de forragens após o corte, que envolve o processo de picagem, compactação e vedação do material vegetal em condições anaeróbicas. Essa ausência de oxigênio permite a ocorrência da fermentação, resultando na produção de silagem, e durante o processo, microrganismos fermentam os açúcares presentes nas plantas, gerando ácidos orgânicos que reduzem o pH do meio para valores próximos de 4, o que garante a estabilidade e preservação do alimento (Silva; M., 2001). O processo de picagem do milho pode melhorar a digestibilidade do amido, em virtude da quebra uniforme dos grãos, que ao diminuir o tamanho das partículas favorece a penetração de microrganismos (Fernandes, 2023).

Durante o processo de produção de silagem, busca-se minimizar as perdas e evitar fermentações secundárias indesejáveis, que comprometem a qualidade final do volumoso, sendo

que essas perdas associadas à ensilagem estão diretamente relacionadas às alterações bromatológicas da forragem, podendo ocorrer em diferentes fases do processo e estádios de maturação da planta (Oliveira; al., 2013). Segundo Carvalho e Jobim (2013), essas perdas podem ser classificadas em invisíveis, decorrentes da liberação de gases durante a fermentação, e visíveis, resultantes de perdas físicas que ocorrem desde a colheita até o fornecimento aos animais, em que as perdas por gases variam de 1 a 10%, enquanto as perdas físicas, em condições normais de campo, situam-se entre 21 e 34%. Entretanto, deficiências estruturais como furos na lona, infiltração de água ou rachaduras nas paredes do silo podem elevar essas perdas a até 70%, comprometendo severamente o valor nutricional da silagem.

O monitoramento da matéria seca (MS) é essencial para garantir uma fermentação eficiente, essa variável deve ser acompanhada semanalmente, pois é influenciada por fatores como espécie e idade da planta, umidade do solo e condições climáticas, e o teor ideal de MS, geralmente entre 28 e 35%, proporciona melhor compactação, fermentação adequada e menor risco de deterioração (Oliveira; al., 2015). Embora as perdas sejam inevitáveis, práticas adequadas de manejo podem reduzi-las consideravelmente, isso inclui a colheita no ponto ideal de MS, o rápido enchimento e vedação do silo, e a retirada correta da silagem durante o uso, evitando a entrada de oxigênio. Além disso, conforme Antonio (2016), a utilização de aditivos pode ser uma estratégia eficiente para melhorar o perfil fermentativo e aumentar o valor nutricional da silagem, contribuindo para uma maior estabilidade e eficiência alimentar no rebanho.

O produtor reconhece que a pastagem, por si só, não é capaz de atender plenamente às exigências nutricionais do rebanho, com isso, a silagem surge como uma alternativa estratégica e um importante complemento alimentar durante os períodos de escassez de forragem, especialmente nos meses mais secos do ano, quando a disponibilidade de pasto é limitada (Paula; Ferreira; Vêras, 2020). De acordo com Knolseisen (2021), o milho destaca-se como a cultura mais adequada para a produção de silagem, uma vez que apresenta características favoráveis à fermentação, resultando em melhor conservação e qualidade do material ensilado.

2.3 Situação econômica

A adoção de novas tecnologias voltadas à alimentação animal requer uma análise criteriosa sob os aspectos nutricionais e econômicos, de modo a fornecer ao produtor a melhor decisão sobre a viabilidade de seus usos. A avaliação econômica da produção de silagem envolve não apenas a estimativa dos custos de produção, mas também a análise da produtividade obtida, abrangendo etapas que vão desde a seleção da cultivar e o preparo do solo até o plantio e o processo de ensilagem (Montes, 2022).

A partir da análise dos custos de produção de leite na região Sul do Brasil, Dalponte (2015) verificou que o custo variável médio por litro de leite produzido por vaca é de aproximadamente R\$ 0,569, desse total, R\$ 0,273 referem-se ao concentrado, R\$ 0,026 aos gastos com sanidade animal, R\$ 0,077 à produção de silagem e R\$ 0,068 a outros custos operacionais,

esses valores demonstram que a nutrição dos animais representa o principal componente do custo de produção leiteira. De forma semelhante, Silveira *et al.* (2011), ao avaliarem os custos operacionais totais (COT) de uma propriedade leiteira com sistema free stall, composta por 100 vacas em lactação e produção média diária de 2.595 litros de leite, constataram que 62,7% dos custos totais de produção estavam relacionados à alimentação do rebanho.

Já em um outro estudo conduzido por Alves *et al.* (2017), que avaliou a viabilidade econômica da produção de silagem de milho em diferentes safras, observou-se que a maior lucratividade foi alcançada quando o produto foi comercializado ao valor de R\$ 250,00 por tonelada, reflexo da alta demanda por alimentos volumosos no período de menor oferta. Esse cenário de escassez forrageira impulsionou os preços de mercado, demonstrando que a rentabilidade da silagem de milho está diretamente relacionada à eficiência produtiva, à produtividade alcançada e à dinâmica de preços vigente na região produtora. Por outro lado, Costa *et al.* (2024) relatou rendimentos reduzidos em seu estudo, resultado atribuído principalmente ao manejo cultural inadequado adotado pelo produtor e às condições climáticas desfavoráveis observadas em cada safra. Reforçando que o desempenho econômico da silagem de milho depende fortemente de fatores agronômicos e ambientais, os quais determinam tanto a quantidade quanto a qualidade da biomassa produzida.

A viabilidade econômica da produção de silagem está diretamente relacionada não apenas à qualidade nutricional do material ensilado, mas também à eficiência dos processos operacionais que compõem sua produção, as ineficiências em etapas como o cultivo, colheita, compactação e vedação podem elevar significativamente o custo por unidade de nutriente, tornando a silagem menos competitiva em relação a outras fontes de volumoso disponíveis no sistema de produção (Santos; Moraes; Nussio, 2017). Nesse contexto, Souza e Fernandes (2020) destacam que a gestão técnica e econômica eficiente requer um acompanhamento criterioso de todas as fases produtivas, desde o estabelecimento da cultura até a obtenção do produto final, assegurando otimização de recursos, redução de perdas e maximização da rentabilidade do sistema forrageiro.

Outros materiais como silagem de capins apresenta diversas vantagens agronômicas e econômicas, como elevada produção anual por área, menor custo por tonelada de nutrientes produzidos, perenidade das plantas, baixo risco de perdas e maior flexibilidade no momento da colheita (Girardi *et al.*, 2021). Entretanto, esse tipo de silagem geralmente apresenta baixo teor de carboidratos solúveis, fundamentais para uma fermentação eficiente, além de baixo teor de matéria seca (MS) no momento do corte, alto poder tampão e menor concentração energética quando comparada à silagem de milho ou sorgo. Essas limitações, somadas à marcada estacionalidade da produção das forrageiras tropicais, contribuem para a ineficiência dos sistemas de produção a pasto, ocasionando períodos de excedente seguidos por fases de escassez (Novaes; Lopes; Carneiro, 2004). Além de comprometer o desempenho animal, essa variação sazonal acarreta flutuações nos preços do leite e dos animais de reposição e descarte. Nesse cenário, o uso estratégico da ensilagem surge como ferramenta essencial para garantir

suprimento constante de forragem de qualidade, minimizando oscilações produtivas e econômicas, sobretudo em sistemas que têm o pasto como base alimentar principal (Cândido; Furtado, 2020).

2.4 Bromatologia

O milho é uma espécie que se destaca pelo elevado potencial de produção de matéria seca por unidade de área e pelo alto teor energético, o que favorece uma maior taxa de lotação animal e reduz a necessidade de suplementação com concentrados por litro de leite produzido. A utilização da silagem de milho na alimentação de vacas leiteiras representa uma forma eficiente de agregar valor ao grão, convertendo-o em produtos lácteos. Em determinadas regiões, a produção de silagem de milho consolidou-se como prática tradicional, uma vez que não compete com outras atividades agrícolas, como o cultivo de café, em termos de uso de máquinas, tempo de manejo ou demanda de mão de obra. Contudo, o declínio do número de produtores de leite aliado ao aumento da produção de milho grão em áreas historicamente voltadas à pecuária leiteira e ao café tem suscitado questionamentos quanto à viabilidade econômica do processo de conversão do amido do milho em produtos lácteos de alto valor biológico (Pereira; Bueno; Herling, 2015).

A qualidade bromatológica das forragens destinadas à ensilagem tem sido avaliada, entre outros parâmetros, pelos teores de proteína bruta, fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), lignina e amido (Oliveira *et al.*, 2021). A época ideal para a colheita do milho e a produção de silagens com o máximo valor nutritivo, ocorre quando os grãos passam do estágio vegetativo leitoso para farináceo ou quando a planta atingir o teor de matéria seca entre 28 a 35%. Neste estágio se obtém a melhor relação entre produção, valor nutritivo e digestibilidade (Neumann *et al.*, 2010).

Do ponto de vista da relevância nutricional, a silagem de milho se sobressai por apresentar valores nutricionais que satisfazem, com eficiência, as demandas de energia e fibra de ruminantes, particularmente de vacas leiteiras de alta produção e bovinos em terminação intensiva (Rezende *et al.*, 2015; Allen; Oba; Choi, 1997). Em termos bromatológicos, a composição média típica inclui cerca de 30-35% de matéria seca, 7-9% de proteína bruta, 50-60% de fibra em detergente neutro (FDN), 24-36% de fibra em detergente ácido (FDA), além de alto teor de amido, que pode representar até 70% da fração do grão, e que se traduz em elevado valor energético (Cruz; Filho; Neto, 2021; Oliveira *et al.*, 2010; Mizubuti *et al.*, 2002). Fibras com boa digestibilidade e níveis adequados de FDN são essenciais para o funcionamento ruminal, enquanto a elevada concentração de amido favorece a produção de leite ou ganho de peso, facilitando o balanceamento dietético e reduzindo a necessidade de suplementação com concentrados onerosos (Allen; Oba; Choi, 1997; Soest, 1994; Silva *et al.*, 2015).

Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), os teores de MS acima de 25%, quando associados a um bom nível de carboidratos solúveis, são suficientes para produção de uma

silagem de boa qualidade. As silagens bem preservadas devem apresentar pH na faixa de 3,7 a 4,2, enquanto as de baixa qualidade se situam entre 5,0 a 7,0. A produção de silagem de alta qualidade depende da composição física das estruturas anatômicas da planta de milho, devendo apresentar em torno de 60 a 65% de espigas, o que define a participação em torno de 45% de grãos no material ensilado (Nussio, 1992).

Vitória *et al.* (2016) realizaram uma análise sensorial da silagem de capim-elefante, observando odor ácido característico e aroma típico do aditivo utilizado, o que evidenciou o emprego de quantidades adequadas de ácidos desejáveis à fermentação láctica. Além disso, a silagem apresentou coloração amarelo-esverdeada uniforme, ausência de odores estranhos e de leveduras, bem como baixas perdas por deterioração, características que indicam fermentação eficiente e conservação satisfatória do material ensilado. Durante a avaliação da silagem, é fundamental verificar a presença de camadas deterioradas, as quais devem ser quantificadas e descartadas, a fim de evitar a contaminação do alimento destinado aos animais. Após a abertura do silo, a exposição ao oxigênio favorece o crescimento de microrganismos deterioradores e patogênicos, podendo ocasionar perdas nutricionais de até 15% e comprometendo a qualidade higiênico-sanitária do alimento (Pereira; Bueno; Herling, 2015). O consumo de silagens contaminadas representa um risco sanitário significativo, podendo causar intoxicações graves. Dentre as enfermidades mais preocupantes, destaca-se o botulismo, uma infecção causada pelas neurotoxinas dos tipos C e D produzidas pela bactéria *Clostridium botulinum*, frequentemente presente em matéria orgânica vegetal ou animal em decomposição. Essa toxina afeta a musculatura dos animais, provocando dificuldade de locomoção, mastigação e deglutição, podendo levar o animal à morte em casos agudos (Dutra, 2005).

2.5 Lignina

A lignina está naturalmente presente nas forragens, variando em teor e composição conforme a espécie vegetal e o estágio de maturação, independentemente da forma de fornecimento do volumoso, seja em pastagem, silagem, feno ou resíduos agroindustriais. Do ponto de vista nutricional, a lignina é considerada uma substância não digestível e sem valor energético direto para os ruminantes, atuando como uma barreira física que limita a degradação da parede celular pelos microrganismos ruminais, além disso, suas ligações com carboidratos estruturais e proteínas reduzem a disponibilidade desses nutrientes para digestão e absorção, comprometendo o aproveitamento da fibra e, conseqüentemente, o desempenho animal (Halpin, 2019).

As ligninas apresentam uma estrutura complexa, composta por mais de 30 monômeros já identificados, que se interligam por diferentes tipos de ligações químicas e passam por diversas modificações estruturais ao longo do processo de lignificação da parede celular (Morais, 1992; Vanholme *et al.*, 2019). Essa diversidade de unidades estruturais e interações químicas confere à lignina uma natureza heterogênea, tornando seu estudo desafiador, especialmente quanto à sua composição e propriedades químicas, assim, a tipificação e denominação da lig-

nina podem variar significativamente conforme o método de extração empregado e as técnicas de caracterização química adotadas.

A lignina apresenta elevada resistência física e química, o que a caracteriza como uma substância indigestível no contexto da nutrição animal, por conta da sua forte associação com carboidratos estruturais e proteínas reduz significativamente a digestibilidade desses nutrientes (Taiz *et al.*, 2017). De acordo com Ralph (2009), os ácidos p-cumárico e ferúlico atuam como “âncoras” estruturais, promovendo ligações firmes entre os polímeros de lignina, a celulose e as hemiceluloses. Em estudo conduzido por Raffrenato *et al.* (2017), avaliando a digestibilidade *in vitro* e *in vivo* da fibra em detergente neutro (FDN) de 23 espécies forrageiras em diferentes estágios de maturação, observou-se que maiores teores desses ácidos fenólicos estavam negativamente correlacionados à digestibilidade e positivamente correlacionados ao teor de lignina. Essa relação foi atribuída à presença de ligações do tipo éter e éster entre os ácidos p-cumárico e ferúlico e os carboidratos fibrosos da parede celular. Assim, a lignina atua como uma barreira à ação hidrolítica das enzimas e dos microrganismos ruminais sobre os componentes fibrosos, resultando em menor degradabilidade da fibra, menor aproveitamento dos nutrientes pelos ruminantes e, conseqüentemente, em redução do valor nutritivo do alimento.

De acordo com um experimento de (Silva *et al.*, 2005), a utilização de inoculantes microbianos na silagem de milho apresentou resultados expressivos, promovendo reduções significativas nos teores de componentes fibrosos, como fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose e hemicelulose. Essa diminuição dos constituintes estruturais resultou em maior digestibilidade *in vitro* da matéria seca, refletindo em um aumento do valor nutritivo potencial da silagem.

2.6 Benzohidrazida

Os aditivos utilizados na ensilagem consistem em substâncias incorporadas à forragem durante o processo de armazenamento, com a finalidade de otimizar a fermentação da massa ensilada e garantir a preservação dos nutrientes. Seu uso é especialmente recomendado quando a matéria-prima apresenta limitações bromatológicas, como baixo teor de carboidratos solúveis, alta umidade ou poder tampão elevado, condições que podem comprometer a fermentação láctica desejável (García, 2016). De acordo com Neumann *et al.* (2010), um aditivo ideal deve apresentar facilidade de aplicação e manuseio, além de elevada qualidade higiênica, de modo a evitar a introdução de microrganismos indesejáveis no silo. Também deve minimizar as perdas de matéria seca durante o processo fermentativo, impedir fermentações secundárias, frequentemente causadas por bactérias dos gêneros *Clostridium* e *Enterobacter*, e melhorar a estabilidade aeróbica da silagem após a abertura do silo.

A benzohidrazida (BHZ) é um composto orgânico sólido, cristalina branca, pertencente ao grupo das hidrazidas. Sua estrutura química é $^1\text{H NMR (CD}_3\text{OD, 500MHz):7.40(t, 2H), 7.76 (d, 2H), 7.48 (t,1H), e }^{13}\text{C NMR (CD}_3\text{OD, 125 MHz): 127.7, 129.2, 132.2, 133.2, 169.4, sua fórmula$

molecular C₇H₈N₂O, derivado do ácido benzóico, o que lhe confere reatividade e potencial para formação de derivados bioativos (Martarello *et al.*, 2021).

Os derivados da benzohidrazida são um conjunto versátil de compostos que possuem propriedades únicas. Uma ampla gama de atividades biológicas das benzohidrazonas tem sido relatada, incluindo atividades anticancerígena, antimicrobiana, herbicida, anticonvulsivante, antioxidante, diurética, antimicobacteriana, antitumoral, anti-inflamatória, antiviral e antimalárica (Burglova *et al.*, 2017; Bayrak *et al.*, 2009). Além disso, uma análise cuidadosa da literatura sobre grupos funcionais que podem ser considerados farmacóforos para atividades antituberculares revelou que o grupo benzohidrazona é comum na maioria dos agentes antituberculares (Crisalli; Kool, 2013; Popp; Kirsch, 1961).

Compostos que possuem estrutura azida têm sido relatados como detentores de diversas atividades biológicas, incluindo ação antioxidante (Kareem *et al.*, 2016; Nazarbajhat *et al.*, 2014), inibição de enzimas quinases (Wang *et al.*, 2016), além de atividade anticancerígena (Ma *et al.*, 2016) e antimicrobiana (Nazarbajhat *et al.*, 2014; Maheswari; Manjula, 2015; Hassan, 2013). Alguns dos compostos de benzohidrazida são sintetizados a partir de derivados de benzohidrazina e benzaldeído. O planejamento de uma síntese deve considerar a disponibilidade dos precursores. A vanilina e o óleo de wintergreen são compostos naturais comumente produzidos a partir de fontes locais na Indonésia. A vanilina é uma fonte natural de aldeído, enquanto o óleo de wintergreen é um éster aromático facilmente convertido em benzohidrazida. Além disso, a vanilina contém grupos hidroxila e metoxila, e o óleo de wintergreen apresenta um grupo fenólico — estruturas relatadas como agentes com atividade antibacteriana (Kim; Farrah; Baney, 2006). Portanto, a síntese de agentes antibacterianos derivados de vanilina e óleo de wintergreen apresenta boa disponibilidade de precursores naturais, ao mesmo tempo em que agrega valor a recursos locais.

A benzohidrazida (BHZ) é um composto derivado do ácido benzoico que modula a síntese de compostos lignocelulósicos. Estudos indicam que sua aplicação foliar pode induzir a sacarificação da lignocelulose na planta, aumentando a disponibilidade de açúcares fermentáveis (Martarello *et al.*, 2021). Compostos como a BHZ atuam sobre a via do fenilpropanoide, reduzindo a síntese de lignina e favorecendo a digestibilidade da fibra.

Em trabalhos recentes, a aplicação de BHZ, daidzina, piperonílico e metilenodioxicinâmico promoveu aumentos expressivos na sacarificação tanto em milho quanto em cana-de-açúcar, sem efeitos deletérios sobre produtividade, perfil morfofisiológico ou resistência fitossanitária (Martarello *et al.*, 2021).

Nos experimentos relatados, milho tratado com BHZ apresentou aumentos superiores a 30% na sacarificação da biomassa lignocelulósica comparado aos controles, com teores médios de lignina preservados e sem alteração significativa nos níveis de p-coumaric e ácido ferúlico, diferentemente do que ocorre quando se empregam técnicas de modificação genética mais incisivas (Martarello *et al.*, 2021).

No contexto da alimentação animal, trabalhos envolvendo a aplicação de inibidores específicos da lignificação (em particular derivados do ácido benzoico e hidrazidas aromáticas) ainda são incipientes no Brasil, mas há demonstração clara de que intervenções químicas suaves que alteram a estrutura, e não apenas a quantidade, de lignina, potencializam a hidrólise da celulose, aumentando teores de açúcares redutores disponíveis para microrganismos do rúmen, com consequências diretas sobre a digestibilidade da fibra (Martarello *et al.*, 2021; Souza, 2023). Estudos envolvendo a cultura de tecidos vegetais também demonstram o potencial da modulação da via dos fenilpropanóides em culturas como trigo, eucalipto e cana-de-açúcar como ferramenta para aumentar disponibilidade de polissacarídeos fermentáveis (Souza; Fernandes, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Pato Branco (26°10'30" de latitude sul e 52°41'29" de longitude oeste), durante a safra 2024/2025. O solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos *et al.*, 2006), apresentando declividade média de 5%. O clima local é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), e a vegetação predominante inclui floresta ombrófila mista e araucárias, com uma altitude média de 760 metros (Roderjan *et al.*, 2002).

3.1 Tratamentos

As soluções de benzohidrazida (BHZ) foram preparadas considerando o peso molecular do composto para obtenção de soluções de 1 litro. O solvente utilizado foi uma mistura composta por 20% de acetona e 80% de água destilada, empregada para garantir adequada solubilização da substância e homogeneidade da calda de aplicação. O preparo foi conduzido em temperatura ambiente (aproximadamente 23 °C), e as soluções foram mantidas sob agitação constante em agitador magnético até a completa dissolução do composto e estabilização do pH. Os tratamentos experimentais consistiram em três condições distintas:

- 1- Aplicação de benzohidrazida na concentração de 50 µM (BZH-50);
- 2- Aplicação de benzohidrazida na concentração de 500 µM (BZH-500);
- 3- Tratamento controle, composto apenas pela solução base (água e acetona), sem adição de benzohidrazida.

A aplicação dos tratamentos foi realizada no estádio fenológico V6 do milho (seis folhas completamente expandidas), alcançado em 20 de novembro de 2024, utilizando pulverizador costal com volume de calda equivalente a 180 L ha⁻¹.

3.2 Manejo

A área experimental apresentava cultivo prévio com nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e aveia (*Avena sativa* L.), sendo conduzida em sistema de plantio direto. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), dispostos em quatro blocos, com duas repetições de cada tratamento, totalizando 24 unidades experimentais. Cada bloco apresentou 62,62 m², delimitados por bordaduras de 3 m, com espaçamento entre linhas de milho de 0,45 m e população de 60 000 plantas/ha. A semeadura foi mecanizada, realizada em 22 de outubro de 2024, utilizando o híbrido de milho P3889R (Pioneer® Seeds) na densidade de seis sementes por metro linear.

No momento do plantio, realizou-se a adubação de base com o fertilizante 4-18-18, na dose de 60 kg/ha, e para o manejo inicial da cultura, em 31 de outubro de 2024, foram aplicados os produtos Engeo Pleno (200 mL/ha) e Connect (1000 mL/ha) para o controle de insetos e pragas, e glifosato (1,5 kg/ha) para o controle de plantas daninhas, utilizando-se volume de calda de 200 L/ha. Em 8 de novembro de 2024, foi aplicada ureia (46% N) na dose de 120 kg/ha, no final do dia, como complementação da adubação nitrogenada, e posteriormente, em 14 de novembro de 2024, foi realizada uma reaplicação dos inseticidas Engeo Pleno (200 mL/ha) e Connect (1000 mL/ha) para reforço do controle de pragas.

A colheita foi efetuada em 14 de fevereiro de 2025, quando as plantas atingiram o estágio fenológico R5 (linha do leite), apresentando teor de matéria seca entre 30 e 35%. Utilizou-se uma colhedora de forragens New Pecos G2, realizando a colheita separadamente por parcela, com limpeza da máquina entre cada tratamento. De cada parcela, foram coletados aproximadamente 6 kg de material picado para as análises in natura e após o processo de fermentação em silos experimentais.

Foram confeccionados 24 silos experimentais contendo o material forrageiro previamente picado. A compactação foi realizada manualmente com o auxílio de uma barra de ferro, utilizando silos de PVC com 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura, assegurando uma densidade aproximada de 700 g/L. No fundo de cada silo foram adicionados 500 g de areia esterilizada, separados da forragem por um filtro de tecido, permitindo a quantificação dos efluentes (exudatos) liberados durante a fermentação. Cada unidade experimental foi equipada com válvula unidirecional de escape de gases, possibilitando a medição da perda gasosa e evitando a entrada de ar e contaminantes externos.

3.3 Avaliações

Após 60 dias de fermentação, os silos foram abertos, e as amostras de silagem foram homogeneizadas e analisadas por meio de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRs — Near Infrared Reflectance Spectroscopy).

Além disso, foram mensurados parâmetros fermentativos diretamente no extrato da silagem, incluindo: pH, determinado com eletrodo de penetração direta; Nitrogênio amoniacal (NH-N), conforme metodologia de Chaney e Marbach (1962); Ácidos orgânicos (lático, acético, propiônico e butírico), quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e em seguida submetidos a análise de variância utilizando o procedimento Mixed do SAS (versão 9,4; SAS Institute, Cary NC). Os graus de liberdade serão corrigidos pelo método Kenward-Rogers as médias

serão exibidas como LSMeans, e a comparação de médias realizadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). A significância estatística será declarada quando $P < 0,05$ e tendências são consideradas quando $0,05 < P < 0,10$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No que se refere aos parâmetros fermentativos (tabela 1), observou-se uma tendência de redução dos teores de ácido butírico, o que sugere um efeito positivo sobre o perfil fermentativo da silagem. O ácido butírico é um marcador de fermentações indesejáveis conduzidas por bactérias do gênero *Clostridium*, cuja redução reflete uma fermentação predominantemente homolática e de melhor qualidade, além disso, o pH da silagem manteve-se estável entre os tratamentos, variando entre 3,69 e 3,75, valores que indicam adequada acidificação e preservação da biomassa. Da mesma forma, os teores de nitrogênio amoniacal equivalente proteico (NH eqprot) não apresentaram diferenças significativas, demonstrando que a BZH não interferiu na degradação proteica durante o processo fermentativo.

Tabela 1 – Parâmetros de fermentação da silagem nos tratamentos controle (CON) e suplementados com benzohidrazida (BHZ-50 e BHZ-500).

Item	Tratamento			EPM	P-valor
	CON	BHZ-50	BHZ-500		
pH	3.75	3.75	3.69	0.046	0.576
NH ₃ eq. proteico (% MS)	0.704	0.704	0.740	0.216	0.417
Ácido acético (% MS)	4.00	3.71	3.83	0.154	0.447
Ácido láctico (% MS)	5.53	5.75	5.53	0.207	0.686
Ácido butírico (% MS)	0.079	0.050	0.068	0.008	0.059
Ácidos orgânicos totais (% MS)	9.60	9.52	9.26	0.190	0.434

Fonte: Autoria própria (2025).

Setyawati, Wahyuningsih e Purwono (2017) sintetizaram derivados de benzohidrazida utilizando vanilina e óleo de wintergreen, ambos compostos fenólicos naturais. O estudo revelou que esses derivados apresentaram atividade antibacteriana significativa, especialmente contra microrganismos Gram-positivos, devido à presença de grupos funcionais como -OH e -OCH (hidroxila e metoxila) e à estrutura benzohidrazona (-CONH-NH=CH-). Além da ação antimicrobiana, os autores destacam que os derivados de BZH também possuem atividade antioxidante e estabilidade química elevada, o que os torna úteis em sistemas biológicos e de preservação de compostos orgânicos. Os resultados mostram redução nos teores de ácido butírico, indicando menor ocorrência de fermentações indesejáveis e melhor preservação da fração energética da silagem. Setyawati, Wahyuningsih e Purwono (2017), demonstraram que compostos à base de benzohidrazida inibem o crescimento microbiano indesejado, o que em uma silagem poderia se traduzir em menor atividade de bactérias do gênero *Clostridium* (responsáveis pela produção de ácido butírico) e melhor estabilidade fermentativa.

Em relação aos parâmetros bromatológicos da silagem (tabela 2), os resultados apresentados evidenciam que a aplicação de benzohidrazida (BZH) nas concentrações de 50 e 500 µM não promoveu alterações significativas ($P > 0,05$) nos principais constituintes bromatológicos da silagem de milho, incluindo matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neu-

tro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), matéria mineral (MM), lignina e carboidratos não fibrosos (CNF). Esse comportamento indica que a BZH não comprometeu a integridade química e nutricional da biomassa ensilada, preservando a qualidade nutricional necessária para o desempenho adequado dos ruminantes.

Entretanto, observou-se uma tendência de incremento no teor de extrato etéreo (EE) ($P=0,088$) nos tratamentos contendo BZH, o que pode estar associado a uma melhor preservação dos lipídios durante o processo fermentativo, possivelmente devido à inibição parcial da oxidação de ácidos graxos insaturados. Além disso, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca em 48 horas (DIVMS48) apresentou aumento significativo ($P=0,0079$), com valores médios passando de 79,9% no controle para 82,0% no tratamento BEN-500, sugerindo que a BZH pode ter favorecido a disponibilização dos carboidratos estruturais à ação enzimática microbiana, resultando em maior eficiência na degradação da fibra e no aproveitamento energético da forragem. Os resultados obtidos corroboram com Wang *et al.* (2013), que observaram que ao modificar estruturalmente a lignina sem reduzir seu teor total, aumenta a eficiência da hidrólise enzimática da biomassa. Esse mecanismo pode explicar o aumento observado na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS48), sugerindo que a BZH tenha promovido maior disponibilidade dos carboidratos estruturais à ação microbiana durante o processo fermentativo da silagem de milho.

Embora os teores de lignina não tenham diferido entre os tratamentos ($P>0,05$), a tendência de aumento da digestibilidade indica que a BZH pode ter atuado modificando a estrutura lignocelulósica, reduzindo as ligações cruzadas entre lignina e polissacarídeos da parede celular, sem necessariamente diminuir o conteúdo total do polímero. Essa hipótese é consistente com os achados de Martarello *et al.* (2021), que demonstraram que a benzohidrazida aumenta a sacarificação da lignocelulose ao facilitar o acesso enzimático, sem alterar significativamente a concentração de lignina. Assim, a ação da BZH parece estar mais associada a alterações químicas estruturais do complexo lignina-celulose-hemicelulose do que a uma redução quantitativa.

No estudo de Usman *et al.* (2022), foi investigada a degradação da matriz lignocelulósica e a subsequente hidrólise enzimática de silagem de *Sorghum bicolor* (sorgo) incorporada com *Glycine max* (soja) em diferentes proporções (0%, 25% e 50% de inclusão de soja) e com ou sem inoculação de *Lactobacillus plantarum* A1, produtora de feruloyl-esterase. Os autores relataram que a inoculação resultou em melhoria substancial das características fermentativas da silagem, incluindo aumento do nitrogênio total (TN) e dos carboidratos não fibrosos (NFC) ($p < 0,05$). Em particular, a concentração residual de carboidratos solúveis (WSC) aumentou em 33,9% ($p < 0,05$) nos tratamentos inoculados em relação aos não inoculados. Usman *et al.* (2022) observaram que a inoculação, combinada com a inclusão de soja, promoveu uma hidrolização significativa da lignocelulose, alterou a morfologia e a estrutura microestrutural da biomassa, aumentou a produção de ácido ferúlico e reduziu o índice de cristalinidade da biomassa em 15,6% ($p < 0,05$). Além disso, a inoculação \times inclusão de soja melhorou o rendimento

de glicose (glucose yield) e a conversão de celulose (cellulose conversion) durante a saccharificação enzimática em comparação com os tratamentos não inoculados.

As modificações estruturais na matriz lignocelulósica, seja via inoculação microbiana com enzimas específicas ou via tratamento químico/agronômico, podem resultar em melhoria da digestibilidade e liberação de carboidratos estruturais, mesmo sem necessariamente grandes reduções no teor total de lignina. Nos resultados observados nesse trabalho, observou-se que a aplicação de BZH não reduziu significativamente o teor de lignina, mas houve aumento significativo da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS48). Isso sugere que o mecanismo em ação pode ser similar ao observado por Usman, em que a modificação da estrutura lignocelulósica (menor cristalinidade, maior liberação de ferulato ou de açúcares solúveis) favorece a degradação da biomassa. A tendência de aumento nos WSC (1,9% → 2,3%) pode ser interpretada em relação a esse mecanismo, em que a BZH possa ter favorecido melhor preservação ou liberação de açúcares simples durante a ensilagem, tal como a inoculação com *L. plantarum* A1 aumentou os WSC em Usman *et al.* (2022). Esse paralelo fortalece a hipótese de que a BZH atua como um modificador da matriz estrutural da forragem, favorecendo a digestibilidade, mesmo que o conteúdo claro de fibra (como FDN, FDA) ou de lignina não apresente diferenças estatísticas significativas.

Já em relação aos teores de proteína não degradável no rúmen (PNDR) e das frações PIDA, PIDN, PIDA/PB e PIDN/PB (tabela 2) também não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$), sugerindo que a aplicação de BZH não alterou a degradabilidade ruminal da proteína nem a disponibilidade de nitrogênio para o microbioma ruminal. Essa estabilidade é importante, pois demonstra que o uso da BZH não compromete o equilíbrio proteico da silagem nem afeta negativamente a eficiência de síntese microbiana no rúmen.

Além disso, as concentrações dos macronutrientes minerais (cálcio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre) mantiveram-se estáveis entre os tratamentos, indicando que a BZH não interferiu na retenção mineral durante a fermentação, preservando o potencial nutricional da forragem.

Tabela 2 – Composição e parâmetros avaliados nos tratamentos controle (CON) e suplementados com benzohidrazida (BEN-50 e BEN-500)

Item	Tratamento			EPM	P. Val
	CON	BEN-50	BEN-500		
FDN (Fibra em Detergente Neutro)	48.5	47.7	47.0	1.044	0.624
FDA (Fibra em Detergente Ácido)	26.7	26.2	25.2	0.564	0.189
PB (Proteína Bruta)	7.7	7.8	7.9	0.107	0.654
MS (Matéria Seca)	31.2	32.1	31.7	0.310	0.208
EE (Extrato Etéreo)	3.2	3.4	3.4	0.0617	0.088
MM (Matéria Mineral)	3.4	3.4	3.3	0.123	0.736
Lignina (Lignina Ácido-Detergente)	3.2	3.3	3.1	0.098	0.425
CNF (Carboidratos Não Fibrosos)	38.7	39.2	39.9	1.085	0.727
NEL (Energia Líquida de Lactação)	1.5	1.5	1.6	0.0180	0.432
NDT (Nutrientes Digestíveis Totais)	69.0	69.0	69.9	0.515	0.410
Acord (Amido Correção Digestiva)	9.60	9.52	9.26	0.190	0.434
DIVFDN240 (Digestibilidade FDN 240h)	66.2	66.3	67.2	0.557	0.367
DIVFDN120 (Digestibilidade FDN 120h)	61.7	62.0	62.8	0.504	0.317
DIVFDN30 (Digestibilidade FDN 30h)	51.6	52.4	52.8	0.903	0.648
DIVMS48 (Digestibilidade MS 48h)	79.9 ^a	80.6 ^a	82.0 ^b	0.395	0.00790
DIVMS30 (Digestibilidade MS 30h)	76.0	76.4	77.6	0.860	0.404
DIVMS24 (Digestibilidade MS 24h)	72.8	73.3	74.6	0.787	0.258
LigninaPerFDN (Lignina por FDN)	6.5	6.9	6.6	0.215	0.522
PNDR (Proteína Não Degradável no Rúmen)	21.5	20.1	21.3	0.875	0.516
aFDNom (FDN Amido-Corregido)	47.1	46.9	45.7	1.009	0.564
AG (Ácidos Graxos)	1.6	1.6	1.7	0.078	0.568
FDNi120 (FDN Indigestível 120h)	18.1	17.8	17.0	0.495	0.305
FDNi30 (FDN Indigestível 30h)	22.9	22.3	21.6	0.710	0.455
S (Enxofre)	0.1	0.1	0.1	0.004	0.319
WSC (Carboidratos Solúveis em Água)	1.9	2.1	2.3	0.311	0.600
DigAmi7h (Digestibilidade do Amido 7h)	74.0	72.3	71.3	0.968	0.169
PDR (Proteína Degradável no Rúmen)	78.5	79.9	78.8	0.875	0.516
PIDAprPB (PIDA por PB)	9.3	8.5	8.5	0.500	0.435
PIDNperPB (PIDN por PB)	19.8	18.5	18.9	0.754	0.491
PIDA (Proteína Insolúvel em Detergente Ácido)	0.7	0.7	0.7	0.037	0.619
PIDN (Proteína Insolúvel em Detergente Neutro)	1.5	1.5	1.5	0.060	0.685
PS (Produção de Silagem)	57.9	59.0	58.0	0.760	0.536
Mg (Magnésio)	0.2	0.2	0.2	0.009	0.706
K (Potássio)	1.1	1.2	1.2	0.037	0.246
P (Fósforo)	0.2	0.3	0.3	0.116	0.481
Ca (Cálcio)	0.2	0.2	0.2	0.009	0.790

Letras distintas indicam diferença estatística significativa entre tratamentos, conforme teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2025).

5 CONCLUSÃO

Os teores de matéria seca e as frações estruturais da planta mantiveram-se estáveis entre os tratamentos, evidenciando que a benzohidrazida não modificou expressivamente a composição bromatológica do material ensilado. Apesar disso, observou-se que a maior dose de benzohidrazida (BEN-500) resultou em incremento significativo na digestibilidade in vitro da matéria seca em 48 horas, sugerindo possível atuação do composto na modificação da estrutura dos carboidratos da parede celular, e a lignina, o que favorece o aproveitamento energético da silagem pelos microrganismos ruminais, aumentando a acessibilidade dos polissacarídeos estruturais à degradação microbiana.

Dessa forma, conclui-se que a benzohidrazida apresenta potencial promissor como aditivo biotecnológico para otimização da digestibilidade de silagens de milho, sem comprometer o desempenho da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, M. S.; OBA, M.; CHOI, B. R. Nutritionist's perspective on corn hybrids for silage. *In: Silage: Field to Feedbunk*. New York: [s.n.], 1997.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Schweizerbart, v. 22, n. 6, p. 711–728, dez. 2013. ISSN 0941-2948. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 04 abr 2025.
- ALVES, N. P. *et al.* Viabilidade econômica da silagem de milho irrigado no norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 56–62, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2975>. Acesso em: 17 jan 2025.
- ANTONIO, P. **Aditivos proteicos sequestrantes de umidade na ensilagem de gramíneas tropicais**. 2016. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Goiás, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/a8705b9a-4645-46aa-9162-ecf2aca2a9f9>. Acesso em: 12 dez 2024.
- BAYRAK, H. *et al.* Synthesis of some new 1,2,4-triazoles starting from isonicotinic acid hydrazide and evaluation of their antimicrobial activities. **European Journal of Medicinal Chemistry**, Elsevier BV, v. 44, n. 11, p. 4362–4366, nov. 2009. ISSN 0223-5234. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0223523409003158?via=ihub>. Acesso em: 14/11/2024.
- BURGLOVA, K. *et al.* Efficient method for aromatic-aldehyde oxidation by cleavage of their hydrazones catalysed by trimethylsilylanolate. **European Journal of Organic Chemistry**, Wiley, v. 2017, n. 2, p. 389–396, jan. 2017. ISSN 1099-0690. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ejoc.201601238>. Acesso em: 14 nov 2024.
- CARVALHO, I. Q.; JOBIM, C. C. **Como reduzir as perdas de silagem**. 2013. Disponível em: http://www.ensilagem.com.br/wp-content/uploads/2013/04/RevistaInforleite_35_reservas_OK.pdf. Acesso em: 15 fev 2025.
- CHANEY, A. L.; MARBACH, E. P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, Oxford University Press (OUP), v. 8, n. 2, p. 130–132, abr. 1962. ISSN 1530-8561. Disponível em: <https://academic.oup.com/clinchem/article-abstract/8/2/130/5672375?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 4 abr 2025.
- CLAUSS, M.; HUMMEL, J. Physiological adaptations of ruminants and their potential relevance for production systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, FapUNIFESP (SciELO), v. 46, n. 7, p. 606–613, jul. 2017. ISSN 1516-3598. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/9gMNwfdX7VsF7ZHdWYkSs3M/?lang=en>. Acesso em: 7 fev 2025.
- CONAB, C. N. de A. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2022/23 – Décimo segundo levantamento**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 20 nov 2024.
- CONAB, C. N. de A. **Safra de grãos 2024-25 é estimada em 345,2 milhões de toneladas, com recorde na produção de milho e soja**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/>

safrade-graos-2024-25-e-estimada-em-345-2-milhoes-de-toneladas-com-recorde-na-producao-de-milho- Acesso em: 23 out 2024.

COSTA, A. D. *et al.* Custos da produção de silagem de milho: um estudo de caso. **Revista Contemporânea**, Brazilian Journals, v. 4, n. 1, p. 3791–3820, jan. 2024. ISSN 2764-7757. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/3170>. Acesso em: 10 mar 2025.

CRISALLI, P.; KOOL, E. T. Importance of ortho proton donors in catalysis of hydrazone formation. **Organic Letters**, American Chemical Society (ACS), v. 15, n. 7, p. 1646–1649, mar. 2013. ISSN 1523-7052. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ol400427x>. Acesso em: 12 mar 2025.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; NETO, M. M. G. **Milho para silagem: sistemas diferenciais de cultivo**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo/milho-para-silagem>. Acesso em: 14 dez 2024.

CÂNDIDO, M. J. D.; FURTADO, R. N. **Estoque de forragem para a seca: produção e utilização da silagem**. Imprensa Universitária, 2020. ISBN 978-65-88492-00-0. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53687>. Acesso em: 10 jan 2025.

DALPONTE, A. **Pecuária: Informações necessárias para entender a planilha de custo de produção**. 2015.

DELMER, D. *et al.* The plant cell wall—dynamic, strong, and adaptable—is a natural shapeshifter. **The Plant Cell**, Oxford University Press (OUP), v. 36, n. 5, p. 1257–1311, fev. 2024. ISSN 1532-298X. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/36/5/1257/7596221>. Acesso em: 5 abr 2025.

DUTRA, I. **Intoxicação fatal**. 2005. Revista Cultivar Bovino. Revista Cultivar Bovino.

EMBRAPA. **Milho no Brasil: importância econômica e avanços tecnológicos**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 16 out 2024.

FAO, F. . A. O. of the U. N. Food and agriculture organization of the united nations. **The State of Food and Agriculture**, 2021. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/437c1215-556b-4161-9af6-68163f5a1f84>. Acesso em: 30 jan 2025.

FERNANDES, F. I. **Impacto do estágio de maturidade sobre o tamanho de partícula na produção de silagem de milho**. 2023. Dissertação (bathesis) — Repositório Institucional da UNESP, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/251048>. Acesso em: 5 abr 2025.

GARCÍA, M. **Utilização de conservantes e inoculantes para a silagem**. 2016. Disponível em: <http://aasm-cua.com.pt/aDefInfTec.asp?ID=118>. Acesso em: 27 mar 2025.

GIRARDI, D. *et al.* Viabilidade técnica e econômica do uso de aditivos em silagem pré-secada de capim tifton 85 (cynodon dactylon) / technical and economic feasibility of the use of additives in pre-dried grass silage tifton 85 (cynodon dactylon). **Brazilian Journal of Development**, South Florida Publishing LLC, v. 7, n. 6, p. 56887–56917, jun. 2021. ISSN 2525-8761. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/31077>. Acesso em: 25 mar 2025.

HALPIN, C. Lignin engineering to improve saccharification and digestibility in grasses. **Current Opinion in Biotechnology**, Elsevier BV, v. 56, p. 223–229, abr. 2019. ISSN 0958-1669.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958166918300648>. Acesso em: 2 abr 2025.

HASSAN, S. Synthesis, antibacterial and antifungal activity of some new pyrazoline and pyrazole derivatives. **Molecules**, MDPI AG, v. 18, n. 3, p. 2683–2711, fev. 2013. ISSN 1420-3049. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/18/3/2683>. Acesso em: 25 mar 2025.

KAREEM, H. *et al.* Conjugated oligo-aromatic compounds bearing a 3,4,5-trimethoxy moiety: Investigation of their antioxidant activity correlated with a dft study. **Molecules**, MDPI AG, v. 21, n. 2, p. 224, fev. 2016. ISSN 1420-3049. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/2/224>. Acesso em: 25 mar 2025.

KIM, Y.; FARRAH, S.; BANEY, R. H. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 6, p. 4531–4545, 2006.

KNOLSEISEN, R. **Silagem de milho: O volumoso suplementar mais usado para gado leiteiro no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://gerencialeite.com.br/blog/silagem-de-milho/>. Acesso em: 20 fev 2025.

MA, J. *et al.* Synthesis of oxylipin mimics and their antifungal activity against the citrus postharvest pathogens. **Molecules**, MDPI AG, v. 21, n. 2, p. 254, fev. 2016. ISSN 1420-3049. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/2/254>. Acesso em: 30 jan 2025.

MAHESWARI, R.; MANJULA, J. Synthesis, characterization and biological applications of benzohydrazide derivatives. **International Journal of Applied Research**, v. 1, n. 10, p. 587–592, 2015. Disponível em: <https://www.allresearchjournal.com/archives/2015/vol1issue10/PartI/1-9-176-710.pdf>. Acesso em: 30 jan 2025.

MARTARELLO, D. C. I. *et al.* Treating maize plants with benzohydrazide increases saccharification of lignocellulose: A non-transgenic approach to improve cellulosic ethanol production. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Springer Science and Business Media LLC, v. 13, n. 11, p. 9943–9954, ago. 2021. ISSN 2190-6823. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-01842-x>. Acesso em: 17 fev 2025.

MCDONALD, P.; HENDERSON, N.; HERON, S. **The Biochemistry of Silage**. 2. ed. New York: Chalcombe Publications, 1991.

MEDINA, J. **Descubra a origem do milho**. 2020. Site. Disponível em: <https://agropos.com.br/origem-do-milho/>. Acesso em: 30 jan 2025.

MIZUBUTI, I. Y. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*zea mays* L.), sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench) e girassol (*helianthus annuus* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, FapUNIFESP (SciELO), v. 31, n. 1, p. 267–272, fev. 2002. ISSN 1516-3598. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/kvVKnNKR4h49kMgwLV4KMMz/?lang=pt>. Acesso em: 30 jan 2025.

MONTES, C. E. R. **Viabilidade Econômica para Produção da Lavoura e Ensilagem de Milho**. 2022. Dissertação (bathesis) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia, MG, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/35407/1/ViabilidadeEconômicaPara.pdf>. Acesso em: 30 jan 2025.

MORAIS, S. A. L. **Contribuição ao estudo químico e espectroscópico da lignina de madeira moída do *Eucalyptus grandis*: Isolamento, quantificação e análise estrutural**.

1992. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ICEX, Belo Horizonte, MG, Brasil, 1992.

MUJTABA, M. *et al.* Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 402, p. 136815, maio 2023. ISSN 0959-6526. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623009733?via=ihub>. Acesso em: 7 abr 2025.

NAZARBAHJAT, N. *et al.* New thiosemicarbazides and 1,2,4-triazolethiones derived from 2-(ethylsulfanyl) benzohydrazide as potent antioxidants. **Molecules**, MDPI AG, v. 19, n. 8, p. 11520–11537, ago. 2014. ISSN 1420-3049. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/19/8/11520>. Acesso em: 28 fev 2025.

NEUMANN, M. *et al.* Aditivos químicos utilizados em silagens. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 192–200, 2010. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/download/1155/1230>. Acesso em: 27 mar 2025.

NOVAES, L. P.; LOPES, F. C. F.; CARNEIRO, J. d. C. **Silagens: oportunidades e pontos críticos**. 2004. 10 p. (43). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/594945>. Acesso em: 15 fev 2025.

NUSSIO, L. G. Produção de silagem de alta qualidade. *In: Reunião Nacional do Milho e Sorgo*. Porto Alegre, BR: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, 1992. p. 155–175.

OLIVEIRA, J. S.; AL. *et.* **Como medir a matéria seca (MS) utilizando forno de micro-ondas**. Juiz de Fora, MG, 2015.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Características de fermentação e valor nutritivo das silagens de milho, sorgo e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 1–10, 2010.

OLIVEIRA, M. R.; AL. *et.* Avaliação das perdas na ensilagem de milho em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 319–325, 2013.

OLIVEIRA, N. C. d. *et al.* Fermentation characteristics and nutritive value of sweet sorghum silage with paiguas palisadegrass and ipypora grass. **Semina: Ciências Agrárias**, Universidade Estadual de Londrina, p. 1923–1940, abr. 2021. ISSN 1679-0359. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/41988>. Acesso em: 10 jan 2025.

PAULA, T.; FERREIRA, M. D. A.; VÉRAS, A. S. C. UtilizaÇÃo de pastagens em regiões semiÁridas: Aspectos agronômicos e valor nutricional – revisão. **Arquivos do Mudi**, Universidade Estadual de Maringá, v. 24, n. 2, p. 140–162, set. 2020. ISSN 1980-959X. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/53567>. Acesso em: 10 jan 2025.

PEREIRA, L. E. T.; BUENO, I. C. d. S.; HERLING, V. R. **Tecnologias para conservação de forragens: fenação e ensilagem**. Pirassununga, SP: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002738447>. Acesso em: 10 mar 2025.

PIPERNO, D. R. The origins of plant cultivation and domestication in the new world tropics: Patterns, process, and new developments. **Current Anthropology**, University of Chicago Press, v. 52, n. S4, p. S453–S470, out. 2011. ISSN 1537-5382. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/259709180_The_Origins_of_Plant_Cultivation_and_Domestication_in_the_New_World_Tropics.

POPP, F. D.; KIRSCH, W. Synthesis of potential anticancer agents. v. schiff bases and related compounds1-2. **The Journal of Organic Chemistry**, American Chemical Society (ACS), v. 26, n. 10, p. 3858–3860, out. 1961. ISSN 1520-6904. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jo01068a056>. Acesso em: 10 jan 2025.

RAFFRENATO, E. *et al.* Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on in vitro and in vivo neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. **Journal of Dairy Science**, American Dairy Science Association, v. 100, n. 10, p. 8119–8131, out. 2017. ISSN 0022-0302. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030217307178>. Acesso em: 23 fev 2025.

RALPH, J. Hydroxycinnamates in lignification. **Phytochemistry Reviews**, Springer Science and Business Media LLC, v. 9, n. 1, p. 65–83, ago. 2009. ISSN 1572-980X. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225106878_Hydroxycinnamates_in_lignification_Phytochem_Rev_965-83. Acesso em: 23 jan 2025.

REZENDE, A. V. d. *et al.* Características agronômicas, bromatológicas e econômicas de alturas de corte para ensilagem da cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Universidade Estadual de Londrina, v. 36, n. 2, p. 961, abr. 2015. ISSN 1676-546X. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/15527>. Acesso em: 10 jan 2025.

RODERJAN, C. V. *et al.* **As unidades fitogeográficas do estado do Paraná**. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná (IAP), 2002. 25 p.

SANTOS, G. D.; MORAES, J. M. M. D.; NUSSIO, L. G. Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. **Revista IPecege**, I-PECEGE, v. 3, n. 1, p. 39–48, fev. 2017. ISSN 2359-5078. Disponível em: <https://revista.ipecege.org.br/Revista/article/view/100>. Acesso em: 5 abr 2025.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SETYAWATI, A.; WAHYUNINGSIH, T. D.; PURWONO, B. Synthesis and characterization of novel benzohydrazide as potential antibacterial agents from natural product vanillin and wintergreen oil. *In: AIP Conference Proceedings*. Author(s), 2017. ISSN 0094-243X. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/1823/1/020121/585054/Synthesis-and-characterization-of-novel>. Acesso em: 2 fev 2025.

SILVA, A. V. *et al.* Composição bromatológica e digestibilidade in vitro da matéria seca de silagens de milho e sorgo tratadas com inoculantes microbianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1881–1890, 2005. Disponível em: https://rbz.org.br/wp-content/uploads/articles_xml/1516-3598-rbz-S1516-35982005000600011/1516-3598-rbz-S1516-35982005000600011.pdf. Acesso em: 27 mar 2025.

SILVA, H. J. T. *et al.* Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 4, p. 36–49, 2018. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1567>. Acesso em: 30 jan 2025.

SILVA, J.; M. **Silagem de forrageiras tropicais**. Campo Grande, MS, 2001.

SILVA, M. S. J. d. *et al.* Production technology and quality of corn silage for feeding dairy cattle in southern brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, FapUNIFESP (SciELO), v. 44, n. 9, p. 303–313, set. 2015. ISSN 1516-3598. Disponível em: <https://rbz.org.br/pt-br/article/production-technology-and-quality-of-corn-silage-for-feeding-dairy-cattle-in-southern-brazil/>. Acesso em: 17 mar 2025.

SILVA, R. P.; GOMES, M. S. Produção de milho no brasil: avanços e desafios. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 215–230, 2019.

SILVEIRA, I. B. *et al.* Simulação da rentabilidade e viabilidade econômica de um modelo de produção de leite em free-stall. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, FapUNIFESP (SciELO), v. 63, n. 2, p. 392–398, abr. 2011. ISSN 0102-0935. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/kbzCvQ3kjqxVwbQ84MCMrMw/?lang=pt>. Acesso em: 20 fev 2025.

SOEST, P. J. V. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2. ed. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1994. Disponível em: <https://www.cornellpress.cornell.edu/book/9780801427725/nutritional-ecology-of-the-ruminant/>. Acesso em: 12 dez 2024.

SOUZA, A. P. Advances in phenylpropanoid pathway modulation for improved biomass saccharification in bioenergy crops. **Floresta e Ambiente**, v. 30, n. 2, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/YqNQWZ6RRWggG5tdhx86G8G/>. Acesso em: 15 fev 2025.

SOUZA, L. H. d.; FERNANDES, V. L. Capacidade operacional e eficiência de campo da produção de silagem de milho cultivado em pivô central: estudo de caso. **Caderno de Ciências Agrárias**, Universidade Federal de Minas Gerais - Pro-Reitoria de Pesquisa, v. 12, p. 1–5, fev. 2020. ISSN 1984-6738. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/15999>. Acesso em: 17 jan 2025.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RS, Brasil: Artmed, 2017. ISBN 978-85-8271-367-9. Disponível em: <https://archive.org/details/taiz-zeiger-fisiologia-vegetal-6a-ed/>. Acesso em: 2 abr 2025.

USMAN, S. *et al.* Lignocellulose degradation and enzymatic hydrolysis of soybean incorporated sorghum silage inoculated with feruloyl-esterase producing lactobacillus plantarum. **Fermentation**, MDPI AG, v. 8, n. 2, p. 70, fev. 2022. ISSN 2311-5637. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/2/70>. Acesso em: 22 out 2025.

VANHOLME, R. *et al.* Lignin biosynthesis and its integration into metabolism. **Current Opinion in Biotechnology**, Elsevier BV, v. 56, p. 230–239, abr. 2019. ISSN 0958-1669. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30913460/>. Acesso em: 2 abr 2025.

VITÓRIA, J. d. *et al.* Avaliação sensorial da silagem de capim elefante com adição de coproduto do maracujá. *In*: **1.º Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica (SICT) do INCAPER; 11.º Jornada de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do IFES, Venda Nova do Imigrante, ES**. Venda Nova do Imigrante, ES: IFES; INCAPER, 2016. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2518/1/I-SICT-OUTROS-020.pdf>. Acesso em: 15 fev 2025.

WANG, H.-C. *et al.* Design, synthesis and biological evaluation of benzohydrazide derivatives containing dihydropyrazoles as potential egfr kinase inhibitors. **Molecules**, MDPI AG, v. 21, n. 8, p. 1012, ago. 2016. ISSN 1420-3049. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/8/1012>. Acesso em: 2 fev 2025.

WANG, Z. *et al.* Lignosulfonate-mediated cellulase adsorption: enhanced enzymatic saccharification of lignocellulose through weakening nonproductive binding to lignin. **Biotechnology for Biofuels**, Springer Science and Business Media LLC, v. 6, n. 1, p. 156, 2013. ISSN 1754-6834. Disponível em: <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/1754-6834-6-156>. Acesso em: 22 out 2025.