

2026

Potencial forrageiro da Moringa oleifera Lam para ensilagem em diferentes adubações e alturas da planta no momento do corte

Mantovani, Tiago Marques

Universidade Estadual do Norte do Paraná

MANTOVANI, Tiago Marques. Potencial forrageiro da Moringa oleifera Lam para ensilagem em diferentes adubações e alturas da planta no momento do corte. Orientador: Petrônio Pinheiro Porto. 2026. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2026.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/946>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ

CAMPUS LUIZ MENEGHEL

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TIAGO MARQUES MANTOVANI

**POTENCIAL FORRAGEIRO PARA ENSILAGEM DA
MORINGA OLEIFERA *LAM* EM DIFERENTES ADUBAÇÕES
E ALTURAS DA PLANTA NO MOMENTO DO CORTE**

TIAGO MARQUES MANTOVANI

**POTENCIAL FORRAGEIRO PARA ENSILAGEM DA
MORINGA OLEIFERA LAM EM DIFERENTES ADUBAÇÕES
E ALTURAS DA PLANTA NO MOMENTO DO CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia da Universidade
Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz
Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Petronio Pinheiro Porto

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do Campus "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M293p

Mantovani, Tiago Marques.

Potencial forrageiro para ensilagem da *Moringa oleifera* Lam em diferentes adubações e alturas da planta no momento do corte da planta no momento do corte. – 2026.

64 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Petronio Pinheiro Porto.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2026.

Inclui bibliografia.

1. Adubação nitrogenada - Dissertação. 2. Composição bromatológica - Dissertação. 3. Altura de corte - Dissertação. 4. Ensilar - Dissertação. 5. *Moringa oleifera* - Dissertação. 6. Silagem - Dissertação. I. Porto, Petronio Pinheiro. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 633 (22.ed)

Bibliotecário Elisio Custodio Brentan Junior (CRB-9/1955)

TIAGO MARQUES MANTOVANI

**POTENCIAL FORRAGEIRO DA *MORINGA OLEIFERA* LAM PARA
ENSILAGEM EM DIFERENTES ADUBAÇÕES E ALTURAS DA
PLANTA NO MOMENTO DO CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Parana – *Campus* Luiz
Meneghel.

Após realização de Defesa Pública o trabalho foi considerado:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Petronio Pinheiro Porto
Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP

Prof(a). Dr. Valter Harry Bumbieris Júnior
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof(a). Dr(a). Marcelo Alves da Silva
Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP

Bandeirantes, 26 de fevereiro de 2026.

Dedico este trabalho a minha familia.

AGRADECIMENTO

Agradeço muito ao meu orientador, Professor Petrônio, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo por sua amizade e por me dar a oportunidade de fazer um mestrado, pois não é fácil trabalhar e cursar uma pós-graduação. Com a sua ajuda e a dos estagiários, que fizeram a parte bruta do trabalho, esta etapa pôde ser concluída com sucesso.

Epígrafe

A ciência aplicada ao campo
transforma observação em decisão.

MANTOVANI, Tiago Marques Mantovani. **Potencial Forrageiro de *Moringa oleifera* Lam. para Ensilagem sob Diferentes Fontes de Adubação Nitrogenada e Alturas da Planta no Momento do Corte.** 2026. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Norte do Paraná, Bandeirantes, 2026.

RESUMO

O presente estudo avaliou o potencial forrageiro da *Moringa oleifera* Lam. destinada à ensilagem, analisando o efeito de diferentes fontes de adubação nitrogenada e alturas da planta no momento do corte sobre a produtividade e a composição bromatológica. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos de adubação (Controle, Pó de Chifre e Casco – 100 kg N/ha, Ureia 100 – 100 kg N/ha e Ureia 200 – 200 kg N/ha), três alturas da planta (2,0; 3,0 e 4,0 m) e três repetições, totalizando 36 parcelas. Avaliaram-se o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), a Produção de Matéria Verde (PMV), a Produção de Matéria Seca (PMS) e a composição bromatológica (Matéria Seca – MS, Proteína Bruta – PB, Fibra em Detergente Neutro – FDN, Cinzas e Nutrientes Digestíveis Totais – NDT).

A altura da planta no momento do corte influenciou diretamente o desenvolvimento estrutural e a produtividade. O DAP aumentou linearmente, com o tratamento controle variando de 6,8 cm (2,0 m) para 19,2 cm (4,0 m). A Ureia 100 promoveu maior diâmetro inicial (11,4 cm aos 2,0 m), enquanto, aos 4,0 m, todos os tratamentos apresentaram valores superiores a 19,0 cm. A elevação da alturas da planta no momento do corte aumentou a biomassa da planta. No tratamento com 200 kg N/ha, a PMV passou de 39,7 para 122,2 ton/ha entre 2,0 e 4,0 m. A PMS no tratamento com Pó de Chifre e Casco atingiu 29,1 ton/ha aos 4,0 m, partindo de 4,8 ton/ha aos 2,0 m.

O teor de MS variou entre 19,0% e 25,3%, indicando necessidade de ajuste da umidade para ensilagem direta. A qualidade nutricional diminuiu com o aumento da altura. A PB superou 12,0% aos 2,0 m e reduziu-se a 5% aos 4,0 m. A FDN manteve-se entre 60,0% e 62,8%, e o NDT variou de 51,2% a 55,6%, demonstrando estabilidade energética. A adubação nitrogenada não promoveu alterações significativas na composição química ou na produção dentro de cada altura.

Conclui-se que a alturas da planta no momento do corte determina o manejo forrageiro da *Moringa oleifera*: o corte a 2,0 m maximiza o aporte proteico, enquanto o corte a 4,0 m maximiza a produção de biomassa, exigindo estratégias para correção da umidade e suplementação proteica.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*; ensilagem; adubação nitrogenada; altura de corte; composição bromatológica.

MANTOVANI, Tiago Marques Mantovani. **Forage Potential of *Moringa oleifera* Lam. for Silage under Different Nitrogen Fertilization Sources and Plant Cutting Heights**. 2026. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Center of Agricultural Sciences, Northern Paraná State University, Bandeirantes, 2026.

ABSTRACT

This study evaluated the forage potential of *Moringa oleifera* Lam. for silage, analyzing the effects of different nitrogen fertilization sources and plant cutting heights on productivity and bromatological composition. A randomized complete block design was used, with four fertilization treatments (Control, horn and hoof meal – 100 kg N/ha, Urea 100 – 100 kg N/ha, and Urea 200 – 200 kg N/ha), three cutting heights (2.0, 3.0, and 4.0 m), and three replications, totaling 36 experimental plots. The evaluated variables included diameter at breast height (DBH), green matter yield (GMY), dry matter yield (DMY), and bromatological composition (dry matter – DM, crude protein – CP, neutral detergent fiber – NDF, ash, and total digestible nutrients – TDN). Cutting height directly influenced structural development and productivity. DBH increased linearly, with the control treatment ranging from 6.8 cm at 2.0 m to 19.2 cm at 4.0 m. Urea 100 promoted greater initial diameter (11.4 cm at 2.0 m), whereas at 4.0 m all treatments exceeded 19.0 cm. Increasing cutting height substantially enhanced biomass production, with GMY rising from 39.7 to 122.2 ton/ha under 200 kg N/ha, and DMY reaching 29.1 ton/ha with horn and hoof meal at 4.0 m. Dry matter content ranged from 19.0% to 25.3%, indicating the need for moisture adjustment for direct ensiling. Nutritional quality decreased with increasing cutting height, with crude protein exceeding 12.0% at 2.0 m and declining to approximately 5.0% at 4.0 m. NDF (60.0–62.8%) and TDN (51.2–55.6%) remained relatively stable. Nitrogen fertilization did not significantly affect chemical composition or productivity within each cutting height. In conclusion, cutting height is the main factor determining forage management in *Moringa oleifera*, with lower cuts favoring protein content and higher cuts maximizing biomass production, requiring moisture correction and protein supplementation strategies for silage use.

Keywords: *Moringa oleifera*; silage; nitrogen fertilization; cutting height; chemical composition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Diâmetro a altura do peito (DAP, cm) da Moringa Oleifera <i>lam.</i> Em função das fontes de adubação nitrogenada e das alturas da planta no momento do corte.	32
Gráfico 2 – Teor de matéria seca (MS%) da Moringa Oleifera <i>lam.</i> em função das fontes de adubação nitrogenada e das alturas da planta no momento do corte.....	34
Gráfico 3 – Produção de Matéria Seca (PMS, ton/ha) da Moringa Oleifera <i>lam.</i> Em função das fontes de adubação nitrogenada e das alturas da planta no momento do corte.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo da área experimental.	26
Tabela 2 – Análise da composição química do pó de casco e chifres.	28
Tabela 3 – Alturas da planta no momento do corte real (m), diâmetro de altura de peito (DAP), produção de matéria verde (MV), porcentagem de Matéria Seca (MS) e produção de matéria seca (PMS) da planta inteira da <i>Moringa oleifera</i> Lam sob o efeito de diferentes tratamentos e alturas da planta no momento do corte.....	31
Tabela 4 – Alturas da planta no momento do corte real (m) e composição bromatológica da <i>Moringa oleifera</i> Lam sob o efeito de diferentes tratamentos e alturas da planta no momento do corte (%MS).	42
Tabela 5 – Correlações entre a altura da planta no momento do corte e das variáveis bromatológicas	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CV	Coeficiente de variação
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DIVMS	Digestibilidade in vitro da Matéria Seca
DMO	Digestibilidade da Matéria Orgânica
FDA	Fibra em Detergente Ácido
FDN	Fibra em Detergente Neutro
FCC	Farinha de Chifre e Casco
MS	Matéria Seca
NDT	Nutrientes Digestíveis Totais
PB	Proteína Bruta
PMV	Produção de Matéria Verde
PMS	Produção de Matéria Seca

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 ORIGEM BOTÂNICA E FISIOLOGIA DA <i>MORINGA OLEÍFERA</i> LAM	14
2.2 ADUBAÇÃO NITROGENADA E CRESCIMENTO DA <i>MORINGA OLEÍFERA</i> LAM	15
2.3 VALOR NUTRITIVO DA <i>MORINGA OLEÍFERA</i> LAM NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL	17
2.3 ALTURA DA PLANTA E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA.....	19
2.4 SILAGEM DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS LENHOSAS ARBÓREAS.....	22
2.5 PERSPECTIVA DE USO E SUSTENTABILIDADE DO CULTIVO NO SUL DO BRASIL	24
3 MATERIAIS E METODO.....	26
3.1 LOCALIZAÇÃO, PERÍODO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	26
3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E ANÁLISE INICIAL	26
3.3 DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS E TRATAMENTOS	26
3.3 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA.....	27
3.4 REGIMES DE CORTE E AMOSTRAGEM DE PRODUÇÃO	28
3.5 PROCESSAMENTOS DA AMOSTRA E DETERMINAÇÃO DA MATERIA SECA E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA.....	29
3.5.1 DETERMINAÇÃO DA MATERIA SECA (MS)	29
3.5.2 CALCULO DA PRODUÇÃO DA MATERIA SECA (PMS).....	29
3.5.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA.....	29
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
4.1 RESULTADOS DA VARIÁVEIS ESTRUTURAIS DA <i>MORINGA OLEIFERA</i> LAM. EM DIFERENTES ALTURAS DA PLANTA NO MOMENTO DO CORTE E ADUBAÇÕES	30
4.1.1 DIAMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP).....	31
4.1.2 TEOR DE MATERIA SECA (MS %)	34
4.1.3 PRODUÇÃO DE MATERIA VERDE (PMV)	36
4.1.4 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (PMS).....	37
4.1.5 ANALISE DO IMPACTO DE FATORES EDÁFICOS E METODOLÓGICOS	39
4.1.6 FATORES EXPERIMENTAIS E VARIABILIDADE BIOLÓGICA.....	40
4.2 COMPOSIÇÃO BROMATOLOGICA DA <i>MORINGA OLEIFERA</i> LA.....	41
4.2.1 TEORES DE CINZAS NA PLANTA	43
4.2.2 PROTEINA BRUTA (PB%).....	44
4.2.3 FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO (FDN%).....	46
4.2.3 NUTRIENTES DIGESTÍVEIS TOTAIS (NDT%).....	48
CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, aliada à necessidade de conservação dos recursos naturais, tem impulsionado a adoção de sistemas mais eficientes de produção animal. Nesse contexto, a busca por alternativas forrageiras adaptadas a condições climáticas adversas é estratégica para garantir o suprimento de volumoso para o vazio forrageiro. A *Moringa oleifera* Lam. destaca-se como espécie promissora para regiões tropicais, devido ao seu elevado potencial produtivo, nutricional e ecológico.

Originária da Índia, a *Moringa* apresenta ampla adaptação a ambientes tropicais e subtropicais, sendo reconhecida pelo alto teor de proteínas, vitaminas e compostos bioativos, associados à boa digestibilidade (Gopalakrishnan; Doriya; Kumar, 2016). Sua inclusão na dieta de ruminantes pode melhorar o desempenho produtivo e reprodutivo, enquanto sua rusticidade e vigoroso rebrote favorecem sistemas pecuários sustentáveis (Kholif et al., 2022). Entretanto, o desempenho da cultura pode variar conforme o manejo adotado, especialmente em função da adubação nitrogenada e da alturas da planta no momento do corte.

O nitrogênio exerce papel central na síntese proteica e na formação de tecidos (Adebayo et al., 2017), e a fonte utilizada pode influenciar o acúmulo de biomassa e o valor nutricional, seja na forma orgânica, como a farinha de chifre e casco (Zumaeta-Barbarán; Arévalo-Hernández, 2025), seja na forma mineral, como a ureia.

De maneira complementar, a alturas da planta no momento do corte determina o balanço entre rendimento e qualidade da forragem. Cortes mais altos tendem a aumentar a produção de biomassa e a lignificação, reduzindo a digestibilidade (Zheng; Zhang; Wu, 2016) e dificultando o manejo mecânico de corte com ensiladeiras para ensilagem, enquanto cortes mais baixos favorecem a qualidade bromatológica e o rebrote, porém podem limitar o acúmulo de matéria seca e elevar o teor de umidade, o que pode prejudicar o processo de fermentação no silo e aumentar as perdas por efluentes. A elevada plasticidade anatômica da espécie (Pérez-Rivera et al., 2021) reforça a necessidade de compreender as interações entre nutrição e morfologia (Sokombela; Eiasu; Nyambo, 2022a).

Apesar do potencial da cultura, há escassez de estudos que integrem simultaneamente os efeitos das fontes de nitrogênio e da alturas da planta

no momento do corte sobre a produção e a composição bromatológica, especialmente em condições subtropicais do Sul do Brasil e em sistemas com ciclo produtivo perene. Assim, este estudo avaliou a influência da combinação de diferentes fontes e doses de nitrogênio com distintas alturas da planta no momento do corte na produtividade, na dinâmica da matéria seca e na composição bromatológica da Moringa, visando subsidiar estratégias de manejo adaptadas ao Norte Pioneiro do Paraná.

Foram testadas as seguintes hipóteses: (i) a combinação entre fontes/doses de nitrogênio e alturas da planta no momento do corte influencia significativamente a produtividade e a composição bromatológica; (ii) as fontes e doses de nitrogênio afetam a produção de biomassa e o valor nutritivo; (iii) as alturas da planta no momento do corte alteram o equilíbrio entre rendimento e qualidade; e (iv) há interação significativa entre os fatores avaliados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM BOTÂNICA E FISIOLOGIA DA *MORINGA OLEÍFERA* LAM

A *Moringa oleifera* Lam é originária das regiões sub-himalaias do norte da Índia, abrangendo áreas que se estendem do nordeste do Paquistão, passando pelo norte da Índia, especialmente Uttar Pradesh e Bengala Ocidental, até o Nepal e Bangladesh. Essa faixa geográfica é reconhecida como o centro de diversidade genética da espécie e considerada o principal local de sua domesticação (Devkota; Bhusal, 2020).

Taxonomicamente pertencente à família Moringaceae, a *Moringa* é uma árvore decídua de crescimento rápido, que atinge entre 6,0 e 12,0 metros de altura, com tronco reto de 20 a 40 cm de diâmetro. Apresenta copa aberta, formada por ramos pendentes e folhas tripinadas de elevado valor nutritivo, compostas por folíolos ovais. As flores são bissexuais e esbranquiçadas, organizadas em panículas, enquanto os frutos são vagens lenhosas, conhecidas como “baquetas”, que liberam sementes aladas adaptadas à dispersão pelo vento (Boopathi; Abubakar, 2021).

O caule é fibroso e sua casca torna-se suberosa e acinzentada com o avanço da idade, sendo valorizado como fonte de fibras. Destaca-se ainda o sistema radicular robusto, composto por raízes tuberosas capazes de armazenar água, característica que contribui para o rápido crescimento e para a elevada resistência da espécie em ambientes áridos e semiáridos (Javed et al., 2022).

O crescimento acelerado e a notável tolerância à seca resultam da integração de adaptações morfológicas e fisiológicas. O sistema radicular profundo e ramificado permite a exploração de camadas mais profundas do solo durante períodos de estiagem, enquanto a regulação estomática ajusta a condutância para reduzir perdas hídricas sem comprometer a atividade fotossintética. O elevado teor relativo de água nas folhas contribui para a manutenção da turgescência celular e para a continuidade dos processos metabólicos sob condições de estresse hídrico (Brunetti et al., 2020).

Em nível bioquímico, a espécie acumula prolina, açúcares solúveis e proteínas, que auxiliam na manutenção do equilíbrio osmótico celular durante

períodos de deficiência hídrica. Nessas condições, há intensificação da atividade de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase e glutathione peroxidase, responsáveis pela neutralização de radicais livres formados sob estresse, preservando o metabolismo celular e favorecendo a sobrevivência em ambientes áridos (Hajaji et al., 2024).

A produção de metabólitos secundários, como compostos fenólicos, flavonoides e carotenoides, reforça a proteção contra o estresse oxidativo (Brunetti et al., 2020). Em nível molecular, observa-se regulação positiva de genes responsivos à seca, incluindo fatores de choque térmico e proteínas associadas ao estresse, ampliando a capacidade adaptativa da espécie (Javed et al., 2022).

Adicionalmente, a alta variabilidade genética e a plasticidade fenotípica conferem ampla adaptação a condições ambientais diversas e dinâmicas (Brunetti et al., 2020). Associações simbióticas com fungos endofíticos e micorrízicos contribuem para maior eficiência na absorção de nutrientes e na sinalização de estresse, ampliando a tolerância à seca e favorecendo o desenvolvimento vegetal (Khoza et al., 2025). Em conjunto, esses mecanismos estruturais, fisiológicos e simbióticos consolidam a *Moringa oleifera* como espécie altamente resiliente, apta a prosperar em ecossistemas áridos e semiáridos.

2.2 ADUBAÇÃO NITROGENADA E CRESCIMENTO DA *MORINGA OLEIFERA* LAM

A adubação exerce papel determinante no crescimento, na produtividade e na qualidade nutricional da *Moringa oleifera*. A aplicação de fertilizantes minerais, especialmente do complexo NPK, promove incrementos consistentes na altura das plantas, no diâmetro do caule, no número de folhas e na biomassa total (He et al., 2020).

O nitrogênio, elemento essencial ao metabolismo vegetal, influencia diretamente o crescimento e a produção de folhas, sendo fundamental para a síntese de proteínas e clorofila. A adubação nitrogenada eleva de maneira consistente a altura, o diâmetro, o número de ramos e a biomassa foliar da moringa. Doses moderadas, entre 100 e 150 kg N/ha, têm proporcionado os melhores resultados de crescimento e produtividade, ao passo que níveis excessivos acarretam retornos decrescentes ou mesmo efeitos negativos, quando associada ao fósforo, a aplicação de 100 kg N/ha e 80 kg P/ha resultou em plantas 46,8% mais

altas que aquelas submetidas a doses mais elevadas dos mesmos nutrientes (Sokombela; Eiasu; Nyambo, 2022).

De modo semelhante, densidades de plantio elevadas combinadas com doses de nitrogênio de 521 kg N/ha/ano manteve rendimentos expressivos de matéria seca, alcançando até 27 t/há em condições ideais (Mendieta-Araica et al., 2013a). Além disso, a fertilização mineral aumenta significativamente o teor de proteína foliar e a concentração de nutrientes essenciais, incluindo N, P, K, Ca, Fe e Mg (He et al., 2020).

O incremento nas doses de nitrogênio também está diretamente associado ao aumento do teor de proteína bruta nas folhas. A aplicação de 400 kg N/ha elevou em 26,3% o teor de proteína bruta em relação à dose de 100 kg N/ha (Adamu et al., 2017). Resultados semelhantes foram observados com o uso de fertilizantes orgânicos, notadamente o esterco de aves, que aumentou o teor proteico e, em alguns casos, superou as fontes inorgânicas (Adebayo et al., 2017). Fertilizantes orgânicos, como esterco e composto, podem igualar ou até superar o desempenho de adubos minerais NPK, além de melhorar a estrutura e a fertilidade do solo (Okhumata, 2022).

Os efeitos da adubação sobre o crescimento e a composição foliar da Moringa demonstram que aplicações moderadas de nitrogênio (100–200 kg N/ha) promovem crescimento vigoroso e aumentam o teor de nutrientes nas folhas. Doses excessivas, contudo, elevam a fração fibrosa e reduzem a qualidade nutricional. Em contrapartida, menores disponibilidades de nitrogênio estimulam a síntese de compostos fenólicos e flavonoides, intensificando a atividade antioxidante das folhas, embora com menor rendimento de biomassa (Guillén-Román et al., 2018).

O uso combinado de fontes orgânicas e minerais mostrou-se eficaz para maximizar a produtividade e a qualidade nutricional, sobretudo em solos de baixa fertilidade (Gad; Sekara; Abdelhamid, 2019). Por outro lado, o excesso de nitrogênio pode reduzir a síntese de metabólitos secundários, como 17 compostos fenólicos e antioxidantes, afetando negativamente as propriedades funcionais das folhas (Guillén-Román et al., 2018).

2.2.1 Fontes de Nitrogenio Sintético e Organicas

Com relação às fontes de nitrogênio, observa-se que a ureia,

fertilizante sintético de alta concentração, disponibiliza rapidamente o nutriente, com mais de 98% do nitrogênio liberado em até 35 dias, concentrando-se principalmente nos primeiros dias após a aplicação. Esse padrão favorece suprimento imediato de nitrogênio e estímulo ao crescimento inicial das plantas. Contudo, quando não há sincronização entre a taxa de liberação e a demanda vegetal, pode ocorrer maior risco de lixiviação e perdas ambientais (Niedziński et al., 2021).

Em contraste, fontes orgânicas como a farinha de chifre e casco (FCC) apresentam liberação lenta do nutriente, com apenas 15% a 28% do nitrogênio disponibilizado no mesmo período, em razão da necessidade de mineralização microbiana para torná-lo acessível às plantas (Zumaeta-Barbarán; Arévalo-Hernández, 2025). Esse padrão proporciona oferta gradual de nitrogênio, reduzindo perdas e contribuindo para melhorias na estrutura do solo e no desenvolvimento radicular a longo prazo. Em determinadas condições e doses adequadas, pode igualar ou até superar a ureia quanto à biomassa radicular e ao teor de clorofila, embora disponibilize menor quantidade total de nitrogênio no curto prazo (Amanullah et al., 2020).

Assim, a ureia destaca-se como fonte eficiente para suprimento imediato, enquanto as fontes orgânicas asseguram liberação sustentada e benefícios adicionais à qualidade do solo. Estratégias de adubação equilibradas, que conciliem eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental, mostram-se fundamentais para explorar plenamente o potencial da *Moringa* como cultura forrageira e funcional.

O uso de fontes orgânicas como a farinha de chifre e casco (FCC) também se insere em uma perspectiva de economia circular. Por se tratar de subproduto do processamento de animais em frigoríficos, seu aproveitamento reduz o descarte de resíduos agroindustriais e agrega valor a materiais que poderiam constituir passivos ambientais. Dessa forma, contribui para maior sustentabilidade do sistema produtivo e reforça o papel da pesquisa na busca por práticas agrícolas ambientalmente responsáveis.

2.3 VALOR NUTRITIVO DA *MORINGA OLEIFERA* LAM NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

As folhas de *Moringa* constituem uma forragem de elevado valor

nutricional, caracterizada pelo alto teor de proteína bruta (PB) e por teores moderados de fibra, o que as torna uma alternativa estratégica para a alimentação animal em regiões tropicais. Estudos indicam que o teor de PB varia entre 22% e 30% da matéria seca, enquanto as frações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) oscilam, respectivamente, entre 25% a 50% e 12% a 38%, com variações relacionadas à idade da planta, ao ecótipo e às condições de cultivo (Su; Chen, 2020).

A composição bromatológica da moringa é fortemente influenciada pela maturação das folhas. Amostras jovens e colheitas precoces apresentam maior teor de proteína e menor conteúdo de fibra, ao passo que a senescência eleva as frações fibrosas e reduz o valor nutritivo (Dhakad et al., 2024). Diferenças genéticas entre ecótipos e variações ambientais também alteram a concentração mineral e a qualidade nutricional das folhas (Bopape-Mabapa et al., 2021). Processos tecnológicos, como fermentação e extração, podem potencializar a qualidade do material vegetal, elevando o teor de PB e reduzindo FDN e FDA, o que se traduz em maior digestibilidade (Shi et al., 2020). Além disso, as folhas de Moringa são ricas em minerais essenciais como cálcio, potássio, magnésio, ferro e selênio, frequentemente em níveis superiores aos observados em forrageiras convencionais como alfafa e gramíneas tropicais (Busani et al., 2011).

A elevada digestibilidade da folha da Moringa tem sido amplamente confirmada por ensaios *in vitro* e *in vivo*. Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (DIVMS) frequentemente superam 70%, e os da matéria orgânica (DMO) situam-se entre 60% e 75%, variando conforme a taxa de inclusão e o processamento (Alarape; Migwi; Ondiek, 2023). Experimentos *in vitro* indicam aumento da produção de gás e melhor fermentação ruminal, reflexo da maior eficiência microbiana e da disponibilidade de proteína metabolizável (Ammar et al., 2024). Em avaliações *in vivo* com caprinos, ovinos e bovinos, a inclusão de 10% a 20% de farinha de folhas de Moringa eleva o consumo de ração, o ganho de peso e a digestibilidade da matéria seca e da fibra, sem efeitos adversos à saúde animal (Kholif et al., 2015a; Mendieta-Araica et al., 2011).

O uso de Moringa como suplemento proteico também tem se mostrado benéfico ao desempenho zootécnico. Em caprinos, a substituição de 20% a 25% do concentrado por folhas de moringa resulta em maior ingestão de alimento, ganho médio diário e eficiência alimentar, enquanto níveis acima de 50% reduzem o

desempenho (Leitanthem et al., 2022). Níveis moderados de inclusão otimizam a digestibilidade e favorecem a fermentação ruminal, melhorando o aproveitamento dos nutrientes. Em cabras lactantes, o fornecimento de folhas de Moringa eleva a produção de leite, o teor de gordura e proteína, aprimora o perfil de ácidos graxos e intensifica a atividade antioxidante (Kholif et al., 2015).

Em ovinos a inclusão de 10% a 25% de farinha de Moringa no concentrado aumentou o consumo, a digestibilidade e o ganho de peso (Abdel-Raheem; Hassan, 2021), enquanto em cordeiros, níveis de até 25% mantiveram o ganho de peso e os indicadores metabólicos dentro da normalidade (Nehra et al., 2024). A substituição de até 40% do concentrado por silagem de folha de Moringa em cabras lactantes intensificou a digestibilidade, a fermentação ruminal e a qualidade do leite (Kholif et al., 2022).

Em vacas leiteiras, a substituição parcial do feno ou da ração total por folhas e pedúnculos de Moringa elevou a ingestão de proteína e melhorou os parâmetros de fermentação ruminal, sem comprometer o desempenho produtivo (Li et al., 2019), e a substituição parcial (até 50%) do feno de alfafa ou da silagem de milho por silagem de Moringa manteve a produção e a composição do leite, embora níveis muito elevados possam reduzir a digestibilidade (Zeng et al., 2018). Em espécies não ruminantes, como suínos e aves em crescimento, a inclusão de farinha de forragem de Moringa em níveis de até 30% e 10% da dieta, respectivamente, preserva o desempenho e a saúde, havendo indícios de melhora na eficiência alimentar e na qualidade dos produtos (Mukumbo et al., 2015).

De modo geral, a inclusão de 10% a 20% de farinha de folhas de Moringa na dieta, com base na matéria seca, é considerada ideal para equilibrar desempenho, digestibilidade e sustentabilidade. Níveis moderados favorecem o metabolismo proteico e a fermentação ruminal, enquanto inclusões elevadas podem reduzir o aproveitamento da proteína sem ganhos adicionais (Anwar et al., 2024; Dong; Zhang; Diao, 2019).

2.3 ALTURA DA PLANTA E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA

O manejo das alturas da planta no momento do corte constitui uma das variáveis mais determinantes na avaliação do crescimento e da qualidade

forrageira da Moringa, por influenciar diretamente a proporção entre tecidos anatômicos, folhas, caules e pecíolos e, conseqüentemente, o valor nutritivo e a produtividade da biomassa. A relação folha/colmo representa um indicador fundamental da qualidade nutricional das forragens, uma vez que as folhas concentram a maior parte da proteína bruta (PB), minerais e nutrientes digestíveis, enquanto os caules, mais lignificados, elevam as frações de fibra (FDN e FDA) e reduzem a digestibilidade (Akakpo et al., 2022).

Durante as fases iniciais de desenvolvimento, a Moringa direciona energia para o alongamento do caule, o que resulta em plantas mais altas e com menor proporção de folhas em relação aos colmos. Assim, plantas jovens ou em rápido crescimento apresentam uma relação folha/colmo reduzida. À medida que a planta amadurece e ocorre maior ramificação, essa proporção tende a se estabilizar ou aumentar, refletindo uma redistribuição de biomassa entre folhas e caules (Santos et al., 2021).

O manejo por podas em alturas intermediárias (em torno de 1,2 m) estimula a brotação lateral e mantém uma relação folha/colmo mais elevada ao longo de múltiplos ciclos de colheita, favorecendo a produção contínua de biomassa foliar e a qualidade nutricional da forragem (Yalta Vela et al., 2024). O espaçamento também interfere indiretamente na morfologia: plantios mais adensados estimulam crescimento vertical e reduzem temporariamente a proporção de folhas, enquanto espaçamentos mais amplos promovem ramificação e podem elevar a relação folha/colmo em estágios subsequentes (Sutarno; Rosyida, 2020).

A maturidade fisiológica exerce efeito marcante sobre a estrutura e a composição da planta. Com o avanço da idade, a biomassa do caule aumenta em maior proporção que a foliar, reduzindo a relação folha/colmo e, conseqüentemente, o teor de proteína bruta (Ruíz Hernández et al., 2021). O incremento da matéria seca com a idade está associado ao espessamento das paredes celulares e ao acúmulo de carboidratos estruturais, como celulose e hemicelulose, enquanto o teor de proteína decresce devido à redução da fração foliar e da atividade metabólica (Mediavilla et al., 2011). Folhas jovens, por outro lado, apresentam maiores teores de proteína e melhor digestibilidade, ao passo que folhas maduras tendem a conter mais proteína total, mas de menor disponibilidade em razão do aumento de compostos antinutricionais (Qadir et al., 2022).

De modo geral, os tecidos das forrageiras tropicais tornam-se

progressivamente lignificados com o avanço da maturação, resultando em estruturas mais resistentes e menos digestíveis. Essa mudança anatômica afeta o equilíbrio entre os constituintes celulares, ricos em açúcares e compostos nitrogenados de alta digestibilidade, e a parede celular, composta por polissacarídeos e lignina, cuja degradação é parcial ou nula nos ruminantes (González-Lemus et al., 2022). Em Moringa, portanto, o manejo da altura da planta no momento do corte e do estágio de rebrota é essencial para equilibrar rendimento e valor nutricional.

A relação entre altura da planta e composição bromatológica segue tendência semelhante. O teor de proteína bruta é mais elevado em folhas jovens ou tenras e diminui significativamente com o avanço da idade ou aumento da altura da planta. Valores superiores de PB (22,8 – 24,1%) são observados aos 60 dias de rebrota, reduzindo-se gradualmente até 180 dias (Ruíz Hernández et al., 2021; Zheng; Zhang; Wu, 2016). Paralelamente, as frações fibrosas (FDN e FDA) aumentam, resultando em menor digestibilidade e maior conteúdo de lignina. Intervalos curtos de colheita (30 – 45 dias) preservam maior proporção de folhas e melhoram o valor nutritivo, enquanto intervalos longos favorecem o acúmulo de caules e a perda de qualidade {Citation} (SULTANA et al., 2014).

Do ponto de vista morfológico e nutricional, o aumento da altura ou da idade das plantas promove maior produção de biomassa e ramificação, mas com redução gradual da fração foliar e da proteína, além do aumento da fibra e da lignificação (VALDÉS-RODRÍGUEZ; PÉREZ-VÁZQUEZ 2019). Esse comportamento, observado em diversas espécies arbóreas forrageiras, é corroborado por estudos em Amoreira-do-papel (*Broussonetia papyrifera*), nos quais o incremento da altura elevou a FDN e a FDA, diminuindo a proteína e a digestibilidade (HAO et al., 2020). Tais resultados reforçam que a definição adequada da altura da planta no momento do corte e dos intervalos de rebrota é determinante para otimizar o balanço entre produtividade e qualidade nutricional da Moringa.

Em síntese, cortes mais baixos e frequentes favorecem o rebrote e a proporção de folhas, elevando o teor proteico e a digestibilidade, enquanto cortes mais altos aumentam a produção total de biomassa, mas reduzem o valor nutritivo. O manejo equilibrado entre alturas da planta no momento do corte, espaçamento e frequência de colheita é, portanto, fundamental para conciliar eficiência produtiva, qualidade da forragem e sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Apesar dos

avanços obtidos, permanecem lacunas sobre a altura da planta no momento do corte mais adequada para equilibrar produtividade e valor nutritivo da Moringa em distintos manejos de adubação e condições ambientais, evidenciando a relevância de estudos complementares sobre essa espécie

2.4 SILAGEM DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS LENHOSAS ARBÓREAS

A ensilagem de forragens provenientes de árvores e arbustos lenhosos tem sido apontada como alternativa estratégica para suprimento alimentar na estação seca, além de contribuir para o aumento do teor proteico e mineral das dietas de ruminantes. Entre as espécies utilizadas destacam-se amoreira-de-papel, amoreira, Moringa, Neolamarckia cadamba, gliricídia, leucena, Prosopis, Mimosa spp., Indigofera, subabul e folhas de palmeira (ZHANG et al., 2019).

Apesar do potencial nutricional, essas espécies apresentam desafios tecnológicos específicos para ensilagem. De modo geral, caracterizam-se por baixos teores de carboidratos solúveis em água e, frequentemente, elevada umidade, fatores que dificultam o rápido estabelecimento da fermentação láctica e favorecem o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis (DU et al., 2023). Tais características diferenciam estrutural e bioquimicamente as forragens lenhosas das gramíneas tradicionalmente utilizadas para silagem.

Para contornar essas limitações, têm sido propostas estratégias como o murchamento prévio do material e a mistura com feno, capins ou resíduos agrícolas (palha de arroz e de milho), elevando o teor de matéria seca para valores próximos a 30–35% e aumentando a disponibilidade de substrato fermentescível (DU et al., 2022). Adicionalmente, a associação com cereais ou gramíneas e o uso de aditivos, como ureia e enzimas, podem melhorar o perfil fermentativo ao ampliar a oferta de carboidratos solúveis (MBATHA; BAKARE, 2018).

Quando essas práticas são adequadamente aplicadas, as silagens de espécies lenhosas podem apresentar baixo pH, reduzido teor de amônia-N e predominância de fermentação láctica. Em contrapartida, falhas no ajuste de umidade ou no suprimento de substrato fermentável favorecem microrganismos como Enterobacter e Clostridium, com produção de ácido butírico, degradação proteica e perdas nutricionais (ZHANG et al., 2019). A eficiência fermentativa, portanto, depende do equilíbrio entre composição estrutural da forragem e manejo

tecnológico.

No contexto tropical, leguminosas arbóreas como leucena, gliricídia, sesbânia e guandu apresentam elevado potencial como componentes de silagem, especialmente quando utilizadas em proporções de 20 a 40% em mistura com gramíneas ou milho. Nessas condições, contribuem para elevar o teor de proteína e melhorar o perfil fibroso, desde que aspectos como lignificação, presença de taninos e armazenamento sejam adequadamente controlados (EBRO et al., 2023). O avanço da maturação vegetal aumenta as frações estruturais como fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (FDN, FDA e lignina) e reduz proteína bruta e digestibilidade, de modo que cortes em estádios precoces ou intermediários tendem a otimizar o equilíbrio entre rendimento e valor nutritivo (MESBAHI et al., 2025).

Entre as espécies arbóreas, a *Moringa* destaca-se pela elevada produtividade, com valores entre 12 e 27 t de matéria seca ha⁻¹ ano⁻¹ sob manejo intensivo, podendo igualar ou superar gramíneas tropicais, especialmente com intervalos de corte entre 60 e 75 dias e alturas de 20–40 cm (Sánchez et al., 2006). Intervalos mais curtos aumentam a concentração de nutrientes, porém reduzem a produção anual, enquanto cortes tardios elevam a fração lenhosa e podem comprometer o valor nutritivo (Debela; Tolera, 2013). Mesmo em ambientes semiáridos, a espécie mantém produção relevante de biomassa devido ao sistema radicular profundo e à elevada tolerância hídrica (Mabapa; Ayisi; Mariga, 2017).

Além da produtividade, a *Moringa* apresenta maior digestibilidade e fermentabilidade em comparação com gramíneas tropicais, ampliando a fração efetivamente utilizável da matéria seca (Jack et al., 2021). Como espécie perene, integra sistemas com maior estabilidade interanual de produção e potenciais benefícios ambientais quando comparada a monocultivos anuais (Igboke et al., 2024). Em sistemas de altitude na Etiópia, forrageiras perenes apresentaram menor retorno econômico no primeiro ano devido aos custos de implantação, mas superaram culturas anuais a partir do segundo ano em receita bruta e relação custo-benefício, com tendência de aumento da rentabilidade ao longo do tempo (Kebede et al., 2024).

A adaptação da *Moringa* a ambientes secos está associada à presença de raízes tuberosas espessas e sistema xilemático bem desenvolvido, favorecendo absorção e armazenamento de água (Vijayaragavan et al., 2025). Sob

déficit hídrico severo, observa-se redução do crescimento da parte aérea concomitante ao aumento do comprimento radicular, indicando realocação de recursos para exploração de camadas mais profundas do solo (Hajaji et al., 2024).

Do ponto de vista operacional, o aumento da lignificação e do diâmetro do caule eleva a resistência mecânica dos tecidos, ampliando a força e a energia necessárias ao corte e acelerando o desgaste de componentes das colhedoras (Kumar et al., 2025; Nutu; Baisan, 2014). A resistência ao cisalhamento diminui com maior teor de umidade, de modo que a colheita em estádios mais úmidos favorece a eficiência energética do processo (Li et al., 2024). Embora colhedoras convencionais possam processar materiais lenhosos, o desempenho mecânico tende a ser mais exigente, podendo demandar ajustes ou equipamentos específicos (Philippe Savoie; Pierre Luc Hébert; François-Simon Robert, 2013).

Na ensilagem, a trituração intensiva pode mitigar parcialmente os efeitos da rigidez estrutural, aumentando a densidade da massa, favorecendo a exclusão de oxigênio e contribuindo para melhor padrão fermentativo (Samarasinghe et al., 2019). Contudo, espécies como *Moringa*, *Gliricidia* e *Leucaena* apresentam elevada umidade, baixos teores de carboidratos solúveis em água e reduzida população epifítica de bactérias ácido-láticas, além de maior capacidade tampão associada à presença de cátions como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que pode dificultar a queda do pH e favorecer a degradação proteica e a formação de NH_3-N (Cai et al., 2021a; Du et al., 2023).

Estudos com silagens mistas indicam que a inclusão de *Moringa* pode reduzir o pH e aumentar a produção de ácido láctico, embora em determinadas combinações possa comprometer a estabilidade aeróbica (Mendieta-Araica et al., 2009). Quando associada a gramíneas e subprodutos adequados, a silagem de *Moringa* pode atender às exigências mínimas de proteína bruta para ruminantes em regiões tropicais (Asaolu et al., 2015), desde que haja ajuste criterioso de umidade, composição e manejo fermentativo.

2.5 PERSPECTIVA DE USO E SUSTENTABILIDADE DO CULTIVO NO SUL DO BRASIL

A literatura científica demonstra que a *Moringa* apresenta elevado potencial produtivo e nutricional, configurando-se como alternativa promissora para sistemas forrageiros tropicais e subtropicais. Contudo, a eficiência de sua exploração

está condicionada ao manejo da adubação nitrogenada e à altura da planta no momento do corte, fatores que influenciam simultaneamente o rendimento de biomassa e a qualidade nutricional. Embora estudos anteriores tenham analisado esses componentes de forma isolada, ainda são limitadas as abordagens que investigam sua interação de maneira integrada.

Entre as principais lacunas identificadas destaca-se a ausência de pesquisas que avaliem, de forma conjunta, diferentes fontes e doses de nitrogênio associadas a distintas alturas da planta no momento do corte. Em consequência, não há recomendação consolidada que estabeleça o ponto de equilíbrio entre produtividade e valor nutritivo da biomassa produzida.

A determinação desse ponto ótimo envolve complexidade técnica, uma vez que o incremento da alturas da planta no momento do corte está associado ao aumento do diâmetro do caule e ao avanço da lignificação dos tecidos. Esse processo tende a reduzir a digestibilidade da forragem, pode dificultar o corte mecanizado e comprometer a compactação no silo, favorecendo a formação de bolsões de ar. Além disso, a colheita de material com elevada umidade ou baixo teor de carboidratos solúveis pode prejudicar a fermentação e intensificar perdas por efluentes (Van Vlierberghe et al., 2022).

Adicionalmente, observa-se que grande parte das investigações concentra-se em ambientes tropicais úmidos, havendo escassez de estudos conduzidos sob condições subtropicais. Em regiões como o Norte Pioneiro do Paraná, variações de temperatura e fotoperíodo podem influenciar significativamente o desenvolvimento vegetativo, a dinâmica de crescimento e a composição bromatológica da espécie.

Diante desse cenário, o presente estudo foi delineado para avaliar, de forma integrada, os efeitos de diferentes fontes e doses de nitrogênio associadas a distintas alturas da planta no momento do corte sobre a produtividade e a composição bromatológica da *Moringa oleifera* em ambiente subtropical. Ao abordar simultaneamente fatores agronômicos e nutricionais, o trabalho busca contribuir para a consolidação de parâmetros técnicos que orientem práticas de manejo mais equilibradas, eficientes e sustentáveis para essa espécie de elevado potencial forrageiro.

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO, PERÍODO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) – Campus Luiz Meneghel, localizada no município de Bandeirantes – PR (23°06'S, 50°21'W, 440 m de altitude), entre outubro de 2024 e abril de 2025, correspondendo ao segundo ano de avaliação de uma área previamente estabelecida e planejada para acompanhamento plurianual.

O clima da região é classificado como Cfa, segundo Köppen, subtropical úmido, com verões quentes e invernos amenos, precipitação média anual de 1.400 mm e temperatura média de 21 °C.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E ANÁLISE INICIAL

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura média, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Pinheiro Junior et al., 2020). Amostras compostas foram coletadas na camada de 0–20 cm antes da instalação do experimento para caracterização química e física da área, cujos resultados estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1- Características químicas e físicas do solo da área experimental.

pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
5,2	17,4	9,21	0,28	4,0	2,1	3,8	7,1	11,0	64	0,0	11,4	42,0
5,6	22,8	3,7	0,59	6,1	2,5	4,3	9,2	13,5	68		13,3	46,8

Unidades: MO (g/kg) (matéria orgânica); P (mg/dm³) (fósforo) ; K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), H+Al (acidez total), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca de cátions) (cmolc/dm³); V (saturação de bases), Areia, Silte, Argila (%).

3.3 DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS E TRATAMENTOS

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, correspondendo a quatro adubações e três alturas da planta ao corte (2,0; 3,0 e 4,0 metros de altura), totalizando 12 tratamentos, com três repetições,

perfazendo 36 parcelas experimentais. Para adubação dos tratamentos foi utilizado 100 kg nitrogênio por hectare, totalizando 356 g de ureia por canteiro, 200 kg nitrogênio por hectare, totalizando 711 g de ureia por canteiro e utilizado como adubo tratamento pó de chifre e casco bovino 100 kg por hectare, totalizando 1,143 kg por canteiro, e junto aos tratamentos, temos o controle, que não recebeu nenhum tipo de adubo, durante o período experimental.

Os tratamentos de adubação nitrogenada consistiram em quatro níveis:

- Controle (C): Sem adubação;
- Pó de chifre e casco bovino triturado (PCC), em dose equivalente a 100 kg de N ha⁻¹.
- Ureia na dose de 100 kg de N ha⁻¹ (U100);
- Ureia na dose de 200 kg de N ha⁻¹ (U200).

3.3 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA

A cultura de *Moringa oleifera* Lam. foi implantada em dezembro de 2023, a partir de sementes semeadas realizada diretamente no campo. O espaçamento utilizado foi de 0,60 m entre linhas e 0,15 m entre plantas, totalizando de seis a sete plantas por metro linear. Durante o estabelecimento, foi realizado o controle de plantas daninhas por capinas manuais.

As adubações com ureia e pó de chifre e casco (Tabela 2) foram realizadas manualmente numa única aplicação, a lança sobre o solo úmido, no dia 15 de novembro de 2024, conforme os tratamentos estabelecidos.

Tabela 2- Análise da composição química do pó de casco e chifres.

Parâmetro	Unidade	Base Seca	In Natura
pH CaCl ₂ 0,01 M (Ref. 1:2,5)	--	7,34	--
Densidade	g/cm ³	0,43	--
Matéria Orgânica Total	%	96,61	91,46
Matéria Orgânica Compostável	%	45,90	43,45
Matéria Orgânica Resistente a	%	50,71	48,01
Carbono Total (Orgânico e	%	56,17	53,17
Carbono Orgânico	%	26,69	25,26
Materiais Inertes	%	< 0,5	< 0,5
Resíduo Mineral Total	%	3,39	3,20
Relação C/N (C Total e N Total)	--	4	4
Relação C/N (Orgânico e N Total)	--	2	2
Nitrogênio Total	%	14,11	13,36
Fósforo Total (P ₂ O ₅ Total)	%	0,62	0,58
Fósforo Ác. Cit. (P ₂ O ₅ Ac. Cit.)	%	0,50	0,46

3.4 REGIMES DE CORTE E AMOSTRAGEM DE PRODUÇÃO

O período experimental compreendeu três cortes: C1 (19/12/2024), C2 (22/02/2025) e C3 (05/04/2025). Embora as alturas das plantas planejadas para o manejo a 25 cm do solo fossem de 2,00; 3,00 e 4,00 m, as médias observadas no momento da colheita foram de 2,22; 3,26 e 4,20 m, respectivamente. Consequentemente, as alturas reais obtidas em cada tratamento foram submetidas à análise estatística.

Em cada canteiro, a amostragem da produção foi realizada em três repetições de 1,0 m linear, delimitadas aleatoriamente, totalizando 3,0 m amostrados por parcelas.

As seguintes variáveis morfológicas e produtivas foram mensuradas:

Diâmetro à Altura do Peito (DAP): Medido nas plantas dentro de cada metro linear amostrado na altura de 1,30 m.

Produção de Matéria Verde (PMV): Após a medição do DAP, as plantas foram cortadas a aproximadamente 25 cm de altura do solo. O material foi pesado individualmente para determinação da produção de matéria verde da planta inteira (PMV) por hectare.

A PMV foi calculada conforme a fórmula:

$$\text{PMV (ton/ha)} = (\text{peso médio amostrado linear} \times 10.000).$$

Onde: Peso médio amostrado linear é o peso total (kg) dos 3,0 m lineares dividido por 3; 10.000 é o fator de conversão adaptado para densidade de plantio para expressar o resultado em ton/ha.

3.5 PROCESSAMENTOS DA AMOSTRA E DETERMINAÇÃO DA MATERIA SECA E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA

3.5.1 DETERMINAÇÃO DA MATERIA SECA (MS)

O material amostrado foi processado e submetido à determinação da matéria seca:

- A planta inteira foi triturada.
- Subamostras em duplicata (aprox. 500 g) foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 72 horas, seguida de pesagem.

O material pré-seco foi moído em moinho tipo willey (peneira de 1,0 mm) e a matéria seca (MS) foi determinada a 105 °C (Silva; Queiroz, 2002).

3.5.2 CALCULO DA PRODUÇÃO DA MATERIA SECA (PMS)

Os resultados da MS foram utilizados para calcular a produção de matéria seca (PMS) por hectare, seguindo a fórmula abaixo:

$$PMS(\text{ton/ha}) = \frac{MS(\%) \times PMV(\text{ton/ha})}{100}$$

3.5.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA

Foram realizadas a determinação dos seguintes parâmetros: cinzas; proteína bruta (PB); fibra em detergente neutro (FDN) (Silva e Queiroz, 2002). O valor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimado conforme Chandler (1990), pela equação:

$$NDT = 86,20 - (0,51 \times FDN).$$

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Tanto para os parâmetros de produtividade e composição bromatológica, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial 4×3 , considerando adubações e alturas da planta no momento do corte como efeitos fixos e blocos como efeito aleatório. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro–Wilk. Quando constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DA VARIÁVEIS ESTRUTURAIS DA *MORINGA OLEIFERA LAM.* EM DIFERENTES ALTURAS DA PLANTA NO MOMENTO DO CORTE E ADUBAÇÕES

Os resultados encontrados para todas as variáveis estudadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Alturas da planta no momento do corte real (m), diâmetro de altura de peito (DAP), produção de matéria verde (MV), porcentagem de Matéria Seca (MS) e produção de matéria seca (PMS) da planta inteira da *Moringa oleifera* Lam sob o efeito de diferentes tratamentos e alturas da planta no momento do corte

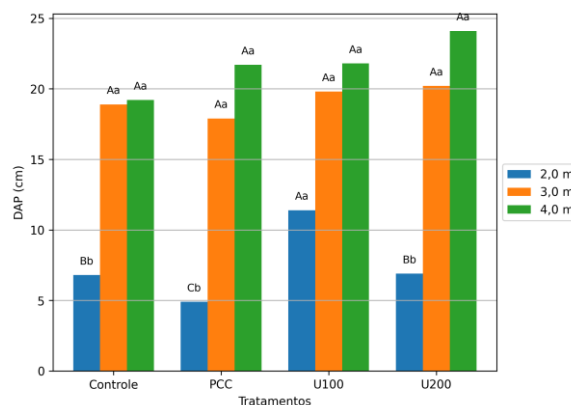
		Alturas da planta no momento do corte			CV ¹ %
Tratamentos		2,0	3,0	4,0	
Alturas da planta no momento do corte real (m)	Controle	2,09 Ab	3,25 Aa	3,91 Aa	27,5
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	2,02 Ab	3,36 Aa	4,45 Aa	26,9
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	2,25 Ab	3,43 Aa	4,20 Aa	26,8
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	2,53 Ac	3,33 Ab	4,26 Aa	22,7
	CV%	14,0	8,7	7,7	
DAP (cm)	Controle	6,8 Bb	18,9 Aa	19,2 Aa	48,3
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	4,9 Cb	17,9 Aa	21,7 Aa	53,4
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	11,4 Aa	19,8 Aa	21,8 Aa	31,6
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	6,9 Bb	20,2 Aa	24,1 Aa	47,5
	CV%	40,4	19,6	14,9	
MS (%)	Controle	19,8 Ab	23,7 Aa	24,2 Aa	69,3
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	20,0 Aa	25,3 Aa	23,3 Aa	74,7
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	19,0 Ac	24,3 Aa	23,4 Aab	53,6
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	19,8 Aa	24,7 Aa	21,5 Aa	54,4
	CV ¹ %	5,4	10,0	6,5	
PMV (ton/ha)	Controle	20,6 Aa	43,2 Aa	70,9 Aa	67,8
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	24,4 Aa	59,4 Aa	126,1 Aa	76,0
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	36,4 Aa	62,7 Aa	85,4 Aa	48,8
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	39,7 Ab	78,3 Aab	122,2 Aa	55,4
	CV%	37,9	42,4	42,1	
PMS (ton/ha)	Controle	4,1 Aa	10,3 Aa	16,8 Aa	10,2
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	4,8 Ab	14,5 Aa	29,1 Aa	12,8
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	6,8 Aa	15,0 Aa	20,0 Aa	13,1
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	7,8 Aa	19,6 Aa	25,7 Aa	13,6
	CV%	35,7	42,5	37,8	

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre tratamentos dentro de cada alturas da planta no momento do corte ($p < 0,05$); Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre Alturas da planta no momento do corte dentro de cada tratamento ($p < 0,05$). ¹CV – Coeficiente

4.1.1 Diametro A Altura Do Peito (Dap)

O DAP apresentou variação em função da alturas da planta no momento do corte e da adubação nitrogenada em condições específicas (Tabela 3 e Gráfico 1)

Gráfico 1 – Diâmetro a altura do peito (DAP, cm) da *Moringa Oleifera* Lam. em função das fontes de adubação nitrogenada e das alturas da planta no momento do corte.



Na comparação entre tratamentos dentro de cada altura, verificou-se diferença estatística apenas na altura de 2,0 m ($p \leq 0,05$), na qual U100 apresentou média distinta das demais fontes. Nas alturas de 3,0 m e 4,0 m, todas as médias foram semelhantes, indicando ausência de efeito isolado da adubação nessas alturas.

Na análise entre alturas dentro de cada tratamento, observou-se aumento significativo ($p \leq 0,05$) do DAP com a elevação da alturas da planta no momento do corte nos tratamentos Controle, PCC e U200. Para U100, não houve diferença estatística entre alturas. Em conjunto, esses resultados indicam efeito predominante da alturas da planta no momento do corte sobre o DAP, com influência pontual da adubação apenas na menor altura.

Os coeficientes de variação foram elevados na altura de 2,0 m e reduziram-se nas alturas superiores, sugerindo maior variabilidade no estágio inicial de desenvolvimento. A maior variabilidade em 2,0 m pode estar associada ao início do espessamento radial, ainda em consolidação e mais sensível a variações microambientais. À medida que a planta atinge maiores alturas, o crescimento secundário tende a apresentar maior uniformidade entre parcelas, reduzindo a variabilidade relativa.

O aumento do DAP com a elevação da alturas da planta no momento do corte indica que a altura constitui o principal fator determinante do espessamento do caule. Esse padrão é coerente com o comportamento fisiológico da *Moringa*, na qual plantas mantidas por períodos mais longos entre cortes desenvolvem caules mais espessos em função do acúmulo de tecidos estruturais

(Valdés-Rodríguez; Pérez-Vázquez, 2019) e do avanço da lignificação, processo associado ao aumento das frações fibrosas e à redução da digestibilidade da fração caulinar (Navarro; Abelilla; Stein, 2019).

A contribuição da adubação nitrogenada para o incremento diametral foi mais evidente na menor altura, especialmente no tratamento U100, comportamento compatível com o efeito do nitrogênio sobre o crescimento vegetativo em estágios iniciais. O fornecimento de N pode intensificar o crescimento radial por estimular processos associados à expansão celular e à divisão cambial (Sokombela; Eiasu; Nyambo, 2022). Em nível anatômico, o espessamento do caule decorre da atividade do câmbio vascular, responsável pela formação de xilema e floema secundários, processo regulado por auxinas e outros hormônios vegetais (Lekhak et al., 2018). A disponibilidade adequada de nitrogênio pode intensificar a síntese de auxinas e aumentar a atividade cambial (Wang et al., 2019) contribuindo para o incremento do DAP observado em tratamentos adubados.

Do ponto de vista operacional, o aumento significativo do DAP nas maiores alturas apresenta desdobramentos na colheita e no processamento. Colmos mais espessos tendem a demandar maior força de corte e maior consumo energético durante a ensilagem. Quando não há ajuste adequado da velocidade e do ângulo das lâminas, bem como da orientação do material, pode ocorrer aumento do tamanho médio de partículas (O'Dogherty, 1982). Assim, o impacto do DAP sobre a eficiência de processamento depende tanto do crescimento estrutural quanto das condições operacionais adotadas.

No contexto da conservação, maior proporção de tecidos lignificados pode dificultar a compactação da massa ensilada, favorecendo retenção de oxigênio e prolongamento da fase aeróbia inicial. A presença de oxigênio pode intensificar a respiração residual e favorecer microrganismos indesejáveis, com possível aumento de perdas de matéria seca (Oladosu et al., 2016). Contudo, tais efeitos são condicionados às práticas de manejo do silo e não podem ser atribuídos de forma isolada ao aumento do DAP.

Sob a perspectiva nutricional, o aumento do diâmetro está associado à maior proporção de frações lignocelulósicas, as quais reduzem a degradabilidade e a recuperação energética da biomassa (Yu et al., 2024). Portanto, os achados estatísticos que evidenciaram maior DAP nas alturas superiores devem ser interpretados como indicativos de alteração estrutural da planta, com potenciais

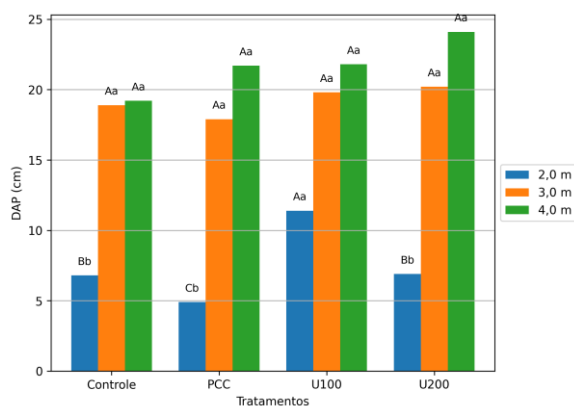
implicações sobre a qualidade da forragem, ainda que seus efeitos dependam da interação com outras variáveis bromatológicas avaliadas.

Dessa forma, integrando os resultados estatísticos às implicações agronômicas, tecnológicas e nutricionais, o DAP deve ser compreendido como variável estrutural modulada principalmente pela alturas da planta no momento do corte. Sua variação representa um ponto crítico de equilíbrio entre crescimento vegetativo, eficiência de colheita e manutenção do valor nutritivo, reforçando o papel estratégico da definição da alturas da planta no momento do corte no manejo da *Moringa oleifera* destinada à alimentação animal.

4.1.2 TEOR DE MATERIA SECA (MS %)

A porcentagem de matéria seca (MS) da planta inteira da *Moringa* foi influenciada principalmente pela alturas da planta no momento do corte (Tabela 3 e Gráfico 2). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos de adubação dentro de cada altura, indicando ausência de efeito isolado da fonte ou da dose de nitrogênio sobre a MS (%).

Gráfico 2 – Teor de matéria seca (MS%) da *Moringa Oleifera lam.* em função das fontes de adubação nitrogenada e das alturas da planta no momento do corte.



Em contrapartida, verificou-se aumento significativo da MS com a elevação da alturas da planta no momento do corte nos tratamentos Controle e U100, enquanto PCC e U200 mantiveram estabilidade entre alturas. Os coeficientes de variação foram de 5,4%, 10,0% e 6,5% para 2,0; 3,0 e 4,0 m, respectivamente, indicando adequada precisão experimental. Não foi evidenciada interação consistente entre adubação e altura para essa variável.

Quanto às hipóteses propostas, os resultados não confirmam efeito isolado da adubação sobre os teores de MS (%), mas confirmam parcialmente o efeito das alturas da planta no momento do corte. A ausência de interação forte entre os fatores indica que o padrão de resposta à altura foi semelhante entre os tratamentos, com variações específicas de pequena magnitude.

O incremento da MS com o aumento das alturas da planta no momento do corte está associado ao avanço da maturidade fisiológica da planta. À medida que ocorre o desenvolvimento estrutural, há maior acúmulo de compostos como celulose, hemicelulose e lignina (A.M. et al., 2024), o que eleva o percentual de matéria seca nas alturas intermediárias e superiores.

Do ponto de vista fisiológico, a disponibilidade de nitrogênio pode manter maior juvenilidade e suculência dos tecidos, retardando a senescência e a deposição excessiva de lignina, mesmo em cortes mais tardios (Lemaire; Belanger, 2019). A fertilização nitrogenada em *Moringa* tende a reduzir o teor percentual de matéria seca, favorecendo maior produção de biomassa fresca e melhor qualidade nutricional (Mendieta-Araica et al., 2013). A estabilidade observada entre tratamentos pode ainda estar associada a mecanismos de regulação hídrica, como ajuste osmótico, controle estomático e síntese de ácido abscísico (Mario Zuffo et al., 2022), que contribuem para uniformizar a relação água/sólidos independentemente da adubação. Além disso, a literatura demonstra que a adubação nitrogenada frequentemente aumenta o rendimento total de MS, sem necessariamente alterar o percentual de MS (McDonald; Baral; Min, 2021; Wagner Oliveira et al., 2022).

Sob a perspectiva tecnológica, os teores de MS observados no experimento, variando de 18,98% a 25,33% nas diferentes alturas, situam-se abaixo do intervalo considerado ideal para silagens de alta qualidade, geralmente entre 30,0% e 35,0% (Franco; Rinne, 2023). Valores inferiores a esse patamar aumentam o risco de perdas por efluentes, diluição de nutrientes solúveis e maior atividade de bactérias do gênero *Clostridium*, podendo resultar em fermentação inadequada, elevação do pH final e redução da palatabilidade (Wróbel et al., 2023). Assim, a *Moringa oleifera* colhida nas condições deste estudo demanda ajustes de umidade e avaliação complementar quanto ao perfil fermentativo, produção de efluentes e aceitação pelos animais. Além disso, embora maior teor de umidade possa favorecer a eficiência energética do corte devido à menor resistência ao cisalhamento (Li et al., 2024), esse aspecto deve ser considerado em conjunto com os impactos sobre a

conservação.

De modo geral, a altura da planta no momento do corte constituiu o principal fator determinante da variação percentual de matéria seca, enquanto a adubação nitrogenada exerceu influência limitada sobre essa variável nas condições experimentais avaliadas.

4.1.3 PRODUÇÃO DE MATERIA VERDE (PMV)

A produção de matéria verde (PMV) variou principalmente em função da alturas da planta no momento do corte e, em menor magnitude, em função da adubação nitrogenada. Na comparação entre tratamentos dentro de cada altura, não foram observadas diferenças significativas nas alturas de 2,0 m e 3,0 m, indicando ausência de efeito isolado da adubação nessas condições. Na altura de 4,0 m, embora alguns tratamentos tenham apresentado valores absolutos superiores, as médias foram semelhantes, não havendo diferença estatística entre as fontes de nitrogênio.

A análise dentro de cada tratamento evidenciou aumento significativo da PMV com a elevação da alturas da planta no momento do corte, especialmente no tratamento U200, cuja produção passou de 39,7 ton ha⁻¹ (2,0 m) para 122,2 ton ha⁻¹ (4,0 m). Tendência semelhante foi observada nos demais tratamentos, ainda que nem todos tenham apresentado diferenciação estatística entre todas as alturas avaliadas. Os coeficientes de variação (CV%) foram de 37,9%, 42,4% e 42,1% para as alturas de 2,0, 3,0 e 4,0 m, respectivamente, indicando variabilidade moderada a elevada, característica comum em variáveis de produção de biomassa.

Embora não tenha havido diferença estatística entre as fontes de adubação na altura de 4,0 m, observou-se maior valor absoluto de PMV para o tratamento com PCC (126,1 ton ha⁻¹) em comparação à ureia 200 (122,2 ton ha⁻¹). De modo geral, a alturas da planta no momento do corte mostrou-se o principal determinante da variação da PMV, enquanto o efeito da adubação nitrogenada foi menos consistente e dependente do estágio de desenvolvimento da planta.

O aumento da PMV com a elevação da alturas da planta no momento do corte é coerente com o acúmulo progressivo de biomassa ao longo do ciclo vegetativo. Plantas mantidas por períodos mais longos entre cortes

desenvolvem maior área foliar e maior massa estrutural, resultando em incremento da produção de matéria verde.

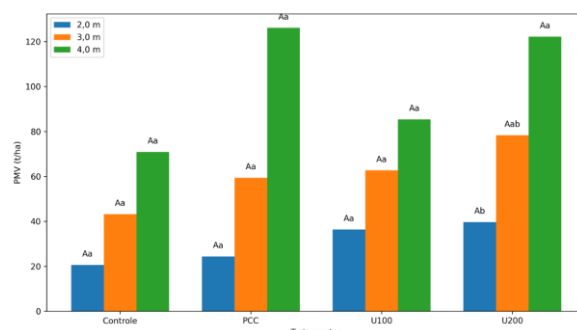
A ureia, especialmente na dose de 200 kg ha⁻¹, apresentou aumento significativo da produção ao longo das alturas dentro do próprio tratamento, indicando resposta consistente ao prolongamento do ciclo vegetativo. A elevada solubilidade e rápida disponibilização do nitrogênio podem favorecer o crescimento vegetativo inicial e sustentar o acúmulo de biomassa, comportamento compatível com o papel do nitrogênio na síntese de proteínas e clorofila, no aumento da taxa fotossintética e na expansão foliar (Mendieta-Araica et al., 2011). A literatura também registra maior crescimento de *Moringa oleifera* sob fertilização orgânica e NPK (Adebayo et al., 2017), reforçando a relevância do nitrogênio para o crescimento vegetativo.

O PCC, cuja liberação de nitrogênio depende da mineralização gradual da queratina (Žibutis; Pekarskas; Česonienė, 2013), apresentou valores absolutos elevados na maior altura, sugerindo que a fonte orgânica foi capaz de sustentar crescimento em estágios mais avançados. Contudo, como não houve diferença estatística entre fontes na maior altura, não se pode afirmar efeito diferencial robusto da fonte nitrogenada, mas apenas tendência observacional, reforçando que a altura da planta no momento do corte constituiu o principal fator explicativo da variação na PMV.

4.1.4 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA (PMS)

A produção de matéria seca (PMS) apresentou variação em função da altura da planta no momento do corte (Tabela 3 e Gráfico 3). Na comparação entre tratamentos dentro de cada altura, não foram observadas diferenças significativas nas alturas de 2,0 m, 3,0 m e 4,0 m, , indicando ausência de efeito isolado da adubação nitrogenada sobre a PMS.

Gráfico 3 – Produção de Materia Seca (PMS, ton/ha) da Moringa Oleifera Lam. Em função das fontes de adubação nitrogenada e das alturas da planta no momento do corte.



Na análise dentro de cada tratamento, observou-se que apenas o tratamento PCC apresentou diferença significativa entre alturas, com valores inferiores na altura de 2,0 m em comparação às alturas de 3,0 m e 4,0 m, evidenciando aumento da PMS com a elevação da alturas da planta no momento do corte. Nos tratamentos Controle, U100 e U200 não houve diferença significativa entre alturas, indicando ausência de efeito consistente da altura dentro dessas fontes.

Os CV% foram de 35,7%, 42,5% e 37,8% para as alturas de 2,0 m, 3,0 m e 4,0 m, respectivamente, sendo classificados como elevados (>20%), o que indica variabilidade considerável entre parcelas e maior cautela na interpretação de diferenças numéricas não significativas.

De modo geral, a alturas da planta no momento do corte constituiu o principal fator associado à variação da PMS, embora o efeito tenha sido estatisticamente confirmado apenas no tratamento PCC. Nos demais tratamentos, os aumentos observados nas maiores alturas permaneceram no âmbito de variação absoluta, sem respaldo estatístico.

A explicação fisiológica relacionada à liberação gradual de nitrogênio pelo PCC (Žibutis; Pekarskas; Česonienė, 2013) e à disponibilização imediata da ureia (Mendieta-Araica et al., 2011) é plausível sob perspectiva teórica, porém não foi confirmada estatisticamente para a variável PMS no presente experimento. Assim, tais considerações devem ser compreendidas como contextualização fisiológica, e não como evidência experimental direta.

Independentemente da fonte nitrogenada, o padrão observado

reforça que o avanço da maturidade da planta é determinante na dinâmica de acúmulo de matéria seca, comportamento coerente com o aumento da biomassa estrutural ao longo do desenvolvimento alométrico e com a maior deposição de compostos estruturais em tecidos mais velhos (Lemaire; Belanger, 2019).

Embora a literatura indique que o nitrogênio pode elevar a produção de matéria seca em diversas culturas (Wagner Oliveira et al., 2022; Zhai et al., 2022) nos dados do presente estudo a altura da planta no momento do corte mostrou-se estruturalmente mais determinante do que a fonte nitrogenada.

Sob a perspectiva prática, os resultados indicam que o ajuste da altura da planta no momento do corte constitui a principal ferramenta de manejo para maximizar a PMS e, conseqüentemente, a produtividade por área voltada à viabilidade da ensilagem, enquanto a adubação orgânica, como o PCC, pode contribuir para sustentar rendimento elevado em ciclos mais longos, ainda que sem diferenciação estatística consistente entre fontes.

4.1.5 ANÁLISE DO IMPACTO DE FATORES EDÁFICOS E METODOLÓGICOS

A variabilidade observada para PMV e PMS pode estar parcialmente associada a fatores edáficos e metodológicos inerentes à parte de campo do experimento. A PMV é particularmente sensível ao teor de água dos tecidos no momento da colheita, enquanto a PMS depende da proporção entre tecidos estruturais e metabólicos, podendo apresentar variação adicional decorrente de diferenças microambientais entre parcelas não detectadas.

Os coeficientes de variação classificados como elevados são compatíveis com a natureza produtiva dessas variáveis e com a dinâmica biológica da cultura. Embora essa variabilidade possa reduzir o poder de detecção de diferenças estatísticas, a interpretação dos resultados permanece fundamentada nos testes realizados, mantendo-se a conclusão formal de ausência de interação significativa entre adubação e altura da planta no momento do corte nas condições avaliadas.

De modo geral, a análise conjunta da PMV e da PMS indica que a altura da planta no momento do corte atuou como principal modulador da produtividade da Moringa, evidenciando tendência linear e positiva de incremento da biomassa com a elevação da altura.

4.1.6 FATORES EXPERIMENTAIS E VARIABILIDADE BIOLÓGICA

A variabilidade observada para as variáveis produtivas DAP, MS (%), PMV e PMS deve ser interpretada considerando tanto aspectos experimentais quanto a dinâmica biológica da cultura. Mesmo sob delineamento em blocos casualizados, podem persistir heterogeneidades edáficas residuais — como variações na fertilidade, textura e disponibilidade hídrica — capazes de ampliar a variância residual e influenciar o crescimento e o acúmulo de biomassa entre parcelas. Além disso, variáveis produtivas apresentam elevada sensibilidade ao teor de umidade dos tecidos e ao estágio de maturidade fisiológica no momento da avaliação, especialmente no caso da PMV e da MS (%), o que pode intensificar a dispersão dos dados em condições de campo.

Coeficientes de variação superiores a 20%, classificados como elevados, são compatíveis com a natureza biológica dessas variáveis e indicam maior heterogeneidade experimental, com possível redução do poder de detecção de diferenças estatísticas entre tratamentos. Ainda assim, tal variabilidade não compromete a interpretação formal baseada nos testes realizados, devendo as conclusões permanecer estritamente fundamentadas nos efeitos estatisticamente significativos observados para cada fator e interação no esquema fatorial 4×3 avaliado.

A arquitetura de rebrota da *Moringa oleifera* constitui outro elemento relevante de variabilidade. A desuniformidade no número de brotações emitidas após o corte pode alterar a alocação de biomassa entre hastes e tecidos estruturais, ampliando a dispersão dos valores individuais e o erro experimental. Esse comportamento é coerente com a plasticidade morfológica descrita para a espécie (Mendieta-Araica et al., 2011), segundo a qual plantas com maior número de hastes tendem a apresentar caules mais delgados, enquanto plantas com menor número de brotos concentram crescimento em estruturas mais espessas.

Do ponto de vista edáfico, o Latossolo Vermelho distroférrico da área experimental apresentou elevado teor de matéria orgânica (17,4 a 22,8 g kg⁻¹). Em condições climáticas favoráveis, essa característica pode intensificar a mineralização do nitrogênio orgânico nativo, assegurando suprimento basal de N mesmo nas parcelas Controle. Quando o nitrogênio disponível aproxima-se do nível de

suficiência para a cultura, incrementos adicionais de fertilização tendem a gerar respostas marginais de produtividade, em consonância com a Lei dos Incrementos Decrescentes (Ferreira; Zocchi; Baron, 2017).

Sob a perspectiva produtiva, a PMS constitui indicador central da viabilidade técnica da *Moringa oleifera* para ensilagem, pois representa o volume efetivo de matéria seca disponível para armazenamento. O aumento da PMS com a elevação das alturas da planta no momento do corte, quando observado, relaciona-se ao avanço da maturidade fisiológica e ao maior acúmulo de tecidos estruturais, conforme descrito por Lemaire e Bélanger (2019). Entretanto, a maximização da matéria seca deve ser analisada em conjunto com modificações estruturais, como incremento do DAP e possível redução da relação folha:caule, uma vez que tais alterações podem repercutir na qualidade da forragem.

De forma integrada, a variabilidade experimental decorreu da interação entre heterogeneidade edáfica residual, plasticidade morfológica da cultura e sensibilidade das variáveis produtivas às condições de maturidade e umidade. Ainda assim, as conclusões permanecem fundamentadas exclusivamente nos efeitos estatisticamente confirmados pela ANOVA, preservando a coerência metodológica do delineamento adotado.

4.2 COMPOSIÇÃO BROMATOLOGICA DA *MORINGA OLEIFERA* LAM

Os resultados encontrados para a composição bromatológica da *Moringa* estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Alturas da planta no momento do corte real (m) e composição bromatológica da *Moringa oleifera* Lam sob o efeito de diferentes tratamentos e alturas da planta no momento do corte (%MS).

		Alturas da planta no momento do corte			CV ¹ %
Tratamentos		2,0	3,0	4,0	
Alturas da planta no momento do corte real (m) CV ¹ %	Controle	2,09 Ab	3,25 Aa	3,91 Aa	27,5
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	2,02 Ab	3,36 Aa	4,45 Aa	26,9
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	2,25 Ab	3,43 Aa	4,20 Aa	26,8
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	2,53 Ac	3,33 Ab	4,26 Aa	22,7
		14,0	8,7	7,7	
Matéria seca MS (%) CV ¹ %	Controle	19,8 Ab	23,7 Aa	24,2 Aa	69,3
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	20,0 Aa	25,3 Aa	23,3 Aa	74,7
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	19,0 Ac	24,3 Aa	23,4 Aab	53,6
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	19,8 Aa	24,7 Aa	21,5 Aa	54,4
		5,4	10,0	6,5	
Cinzas (%) CV ¹ %	Controle	8,5 Aa	5,2 Ab	4,5 Ab	31,4
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	9,0 Aa	4,0 Ab	4,0 Ab	43,5
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	9,2 Aa	3,7 Ab	3,7 Ab	43,1
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	8,0 Aa	5,3 Aab	5,0 Ab	26,2
		8,1	15,7	16,4	
Proteína Bruta PB (%) CV ¹ %	Controle	15,8 Aa	5,8 Ab	5,4 Ab	58,9
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	12,6 Aa	5,5 Aa	5,4 Aa	85,9
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	19,6 Aa	7,3 Ab	5,6 Ab	62,2
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	13,5 Aa	6,3 Aa	8,8 Aa	41,8
		30,9	34,2	31,3	
Fibra em detergente neutro FDN (%) CV ¹ %	Controle	61,0 Aa	60,9 Aa	60,0 Aa	1,1
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	61,6 Aa	61,8 Aa	61,0 Aa	2,2
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	62,8 Aa	61,8 Aab	60,0 Aa	2,2
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	62,4 Aa	61,8 Aab	60,2 Aa	2,0
		2,1	1,5	1,1	
Nutrientes digestíveis totais NDT (%) CV ¹ %	Controle	55,1 Aa	55,1 Aa	55,5 Aa	0,6
	Pó de Chifre e Casco – PCC (100kg N/ha)	54,8 Aa	54,7 Aa	55,1 Aa	1,3
	Ureia 100 (100kg N/ha) ¹	51,2 Ab	54,7 Aab	55,6 Aa	1,3
	Ureia 200 ² (200kg N/ha)	54,3 Ab	54,7 Aab	55,5 Aa	1,1
		1,2	0,9	0,6	

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre tratamentos dentro de cada alturas da planta no momento do corte ($p < 0,05$); Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre Alturas da planta no momento do corte dentro de cada tratamento ($p < 0,05$). ¹CV – Coeficiente

4.2.1 TEORES DE CINZAS NA PLANTA

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos quando comparadas as alturas da planta no momento do corte de 2,0 m, 3,0 m e 4,0 m, evidenciando ausência de efeito isolado significativo da adubação nitrogenada sobre o teor de cinzas, independentemente da fonte ou da dose aplicada.

Na comparação entre alturas dentro de cada tratamento, verificou-se efeito consistente da alturas da planta no momento do corte. Nos tratamentos Controle, PCC (100 kg N ha⁻¹) e Ureia 100, a altura de 2,0 m apresentou teores de cinzas superiores ($p < 0,05$) em relação às alturas de 3,0 m e 4,0 m, caracterizando redução significativa do teor mineral com o aumento do porte da planta. No tratamento Controle, por exemplo, o teor de cinzas declinou de 8,5% na altura de 2,0 m para 4,5% na altura de 4,0 m. Esse comportamento sugere que, embora a Moringa seja eficiente na absorção de minerais, a taxa de deposição desses nutrientes não acompanha proporcionalmente o crescimento volumétrico da planta, configurando efeito de diluição do conteúdo mineral na biomassa estrutural. No tratamento Ureia 200, a altura de 2,0 m diferiu da de 4,0 m, enquanto a altura de 3,0 m apresentou comportamento intermediário, sem diferença estatística em relação às demais.

De modo geral, observou-se redução acentuada do teor de cinzas com o aumento da alturas da planta no momento do corte. A ausência de diferenças entre tratamentos dentro de cada altura, associada ao padrão semelhante de resposta à altura entre as fontes de nitrogênio, indica inexistência de interação estatisticamente significativa entre adubação e altura para a variável cinzas. Assim, o efeito predominante foi o da alturas da planta no momento do corte.

Os CV por tratamento variaram de 26,2% a 43,5%, sendo classificados como elevados ($>20\%$), o que indica variabilidade considerável entre parcelas e possível redução do poder de detecção de diferenças sutis entre fontes de adubação. Em contraste, os coeficientes de variação por altura foram menores, variando de 8,1% (baixo) a 16,4% (moderado), corroborando a consistência do efeito da altura sobre a composição mineral.

A Moringa é reconhecida por apresentar elevada e relativamente estável concentração de minerais nas folhas. Estudos conduzidos sob diferentes densidades de plantio (100.000 vs. 167.000 plantas ha⁻¹) demonstraram que

produções de até 27 t ha⁻¹ de matéria seca não alteraram significativamente a composição química das frações foliares, apesar do expressivo aumento de biomassa (Sánchez; Ledin; Ledin, 2006).

À medida que a relação folha:colmo diminui com o aumento do porte da planta, reduz-se a proporção de folhas ricas em minerais na biomassa total, contribuindo para a queda do teor de cinzas na planta inteira. Esse comportamento é alometricamente inverso ao da fração foliar e reflete maior investimento em tecidos de sustentação e transporte, como celulose e lignina, necessários ao suporte do aumento da copa (Lemaire; Belanger, 2019). Considerando que a maior parte dos minerais se concentra nas folhas, o avanço da altura ou da maturidade tende a reduzir a concentração de cinzas na matéria seca total, em decorrência da diluição promovida pelo acréscimo de biomassa estrutural e pela alteração da morfologia da planta.

Plantas lenhosas apresentam, em geral, elevada concentração de cátions como K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, os quais podem neutralizar o ácido láctico e outros ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação da silagem, dificultando a redução do pH e favorecendo o crescimento de microrganismos indesejáveis, com possível aumento de NH₃-N e comprometimento da qualidade fermentativa (Cai et al., 2021). A composição química dessas plantas, incluindo teores de umidade, proteína, fibra e minerais, varia conforme o estágio de crescimento, influenciando diretamente o padrão fermentativo da silagem (Du et al., 2022). Adicionalmente, o estágio de desenvolvimento e a proporção de galhos e folhas na massa ensilada exercem influência relevante sobre a qualidade final do processo (Anadón et al., 2014). Nesse contexto, a redução dos teores de cinzas observada em maiores alturas pode representar fator potencialmente favorável ao processo fermentativo da silagem de Moringa

4.2.2 PROTEÍNA BRUTA (PB%)

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os resultados das adubações nas alturas de 2,0 m, 3,0 m e 4,0 m, indicando ausência de efeito isolado significativo da adubação nitrogenada sobre o teor de Proteína Bruta (PB).

Na comparação entre alturas dentro de cada tratamento, verificou-se que o efeito da altura dependeu da fonte de adubação, caracterizando interação

entre os fatores. No tratamento Controle, a altura de 2,0 m (15,8%) diferiu significativamente das alturas de 3,0 m e 4,0 m, evidenciando redução acentuada da proteína com o aumento do porte da planta. Tendência semelhante foi observada para a Ureia 100, na qual a altura de 2,0 m (19,6%) apresentou valor superior às demais, confirmando o declínio proteico nas maiores alturas. Em contraste, nos tratamentos PCC e Ureia 200, não houve diferenças estatísticas entre alturas, sugerindo comportamento distinto da proteína conforme a fonte ou dose aplicada.

Esse padrão confirma a existência de interação entre adubação e altura para a variável PB, uma vez que a resposta ao crescimento não foi uniforme entre os tratamentos. Quanto à precisão experimental, os coeficientes de variação por tratamento foram elevados, variando de 41,8% a 85,9%, e os CVs por altura oscilaram entre 30,9% e 34,2%, também classificados como altos, indicando heterogeneidade considerável e possível limitação na detecção de diferenças mais sutis.

A análise de regressão linear reforça esse comportamento ao demonstrar associação negativa significativa ($PB = 23,96 - 4,50 \times \text{Altura}$; $r = -0,736$; $R^2 = 0,541$; $p < 0,001$), com redução média estimada de 4,50 pontos percentuais de PB a cada metro adicional de crescimento da Moringa.

Do ponto de vista fisiológico, essa relação negativa pode ser explicada pelo maior investimento em tecidos estruturais com o avanço do crescimento vegetal. O aumento da altura implica maior proporção de caule, cuja taxa de acúmulo supera a de tecidos metabolicamente ativos, promovendo diluição relativa da concentração de nitrogênio na matéria seca total (Lemaire; Belanger, 2019). Como o nitrogênio se concentra predominantemente nas folhas para funções enzimáticas e fotossintéticas, a redução da relação folha:colmo ao longo do crescimento diminui a proporção de tecido rico em proteína na biomassa total (Haki et al., 2016). Além disso, o avanço da maturidade intensifica a lignificação, eleva as frações fibrosas e reduz a digestibilidade da proteína (Castro-Montoya; Dickhoefer, 2020).

Sob a perspectiva da nutrição animal, essa variação apresenta implicações relevantes. Enquanto a altura de 2,0 m fornece teores entre 15% e 19,6% de PB, compatíveis com volumoso de qualidade intermediária a alta, as alturas superiores apresentam valores próximos a 6,0%, situados no limite inferior para manutenção eficiente da atividade microbiana ruminal, podendo comprometer a

digestão da fibra e o consumo voluntário na ausência de suplementação proteica (De Oliveira Franco et al., 2016; Sampaio et al., 2010). Assim, a altura da planta no momento do corte atua como variável determinante no equilíbrio entre produção de biomassa e qualidade proteica.

Adicionalmente, níveis elevados de proteína no material ensilado intensificam a proteólise e podem comprometer a qualidade fermentativa da silagem. Em forragens ricas em proteína, como alfafa, índigo, mandioca e moringa, ocorre degradação acentuada das proteínas em aminoácidos e posterior desaminação, resultando na formação de amônia. O aumento da amônia indica maior extensão da proteólise, uma vez que proteínas são convertidas em aminoácidos e α -cetoácidos pela ação de proteases vegetais e microbianas. Por apresentar caráter alcalino, a amônia eleva o pH da silagem, dificulta sua estabilização, aumenta a solubilização do nitrogênio e favorece perdas de matéria seca, reduzindo a eficiência de utilização do nitrogênio pelo gado (Jayanegara et al., 2020). Nesse contexto, a redução dos teores de proteína bruta observada em maiores alturas, embora represente diminuição da qualidade nutricional, pode contribuir para ambiente fermentativo potencialmente mais favorável na silagem de Moringa.

4.2.3 FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO (FDN%)

Não foi observado efeito significativo da adubação nitrogenada sobre o teor de FDN nas alturas de 2,0 m, 3,0 m e 4,0 m. Na comparação entre alturas dentro de cada tratamento, predominou comportamento de estabilidade. Os tratamentos Controle e Pó de Chifre e Casco (PCC) mantiveram teores constantes em todas as alturas, com variações discretas entre 60,0% e 61,0% no Controle e entre 61,0% e 61,8% no PCC. Nos tratamentos Ureia 100 e Ureia 200, embora as alturas de 2,0 m e 4,0 m tenham diferido entre si, a altura de 3,0 m apresentou valor intermediário (média de 61,8%), sem caracterizar tendência consistente.

Diante da ausência de diferenças entre tratamentos dentro de cada altura e da inexistência de padrão consistente entre alturas nos diferentes tratamentos, não há evidência estatística de interação significativa entre adubação e altura para a variável FDN. Assim, prevaleceu estabilidade da fração fibrosa, sugerindo que, nas condições experimentais avaliadas, as variações nas fontes e doses de nitrogênio não foram suficientes para promover alterações relevantes na

parede celular da planta. Os baixos coeficientes de variação por altura (1,1% a 2,1%) reforçam a precisão dessa estabilidade.

A literatura aponta que, em folhas de *Moringa*, níveis mais elevados de nitrogênio podem reduzir a FDN (Sokombela; Eiasu; Nyambo, 2022), enquanto as relações entre nitrogênio e FDN na biomassa aérea total ainda são pouco quantificadas (Mendieta-Araica et al., 2013). Em forrageiras lenhosas perenes, as frações fibrosas são majoritariamente compostas por paredes celulares lignificadas, que tendem a apresentar alterações mais lentas ao longo do ciclo vegetativo (Dalle, 2020).

Estudos conduzidos com *Indigofera zollingeriana* demonstraram que o tipo de solo pode alterar significativamente o teor de FDN (Lisu; Nastiti; Koten, 2022) e que o avanço da idade de colheita na estação seca pode elevá-lo (Tantalo; Liman; Fathul, 2019). De forma semelhante, em *Broussonetia papyrifera*, o aumento da altura promoveu incremento das frações FDN e FDA e redução da proteína bruta (Hao et al., 2020), enquanto em *Tithonia diversifolia* a alturas da planta no momento do corte alterou significativamente as frações de fibra, com interação com a estação do ano (Uu-Espens et al., 2022).

O teor de FDN em torno de 60% da matéria seca observado na biomassa de *Moringa* indica elevada participação da fração estrutural na composição total. A FDN é composta principalmente por hemicelulose, celulose e lignina, componentes associados à parede celular vegetal e relacionados à limitação física do consumo voluntário em ruminantes, especialmente em dietas com alta proporção de volumoso (Harper; McNeill, 2015). Valores próximos ou superiores a 60% são característicos de forragens tropicais em estádios mais avançados de maturidade, particularmente quando há maior proporção de colmos na biomassa total (Nurdianti et al., 2025).

Entretanto, a interpretação do teor de FDN deve ser contextualizada em relação à fração efetivamente digestível da fibra e à composição global da dieta. A FDN, isoladamente, não determina a digestibilidade, sendo necessário considerar também a FDA e o teor de lignina para estimativas mais precisas do aproveitamento ruminal (Krizsan; Ahvenjärvi; Huhtanen, 2010). Assim, um teor próximo de 60% não implica necessariamente baixa qualidade nutricional, mas indica maior contribuição estrutural da biomassa e possível limitação de consumo quando utilizada como volumoso exclusivo.

Do ponto de vista prático, esse nível de FDN é compatível com volumosos tropicais e pode atender sistemas de manutenção ou produção moderada, desde que a dieta seja adequadamente balanceada quanto à proteína e à energia (Oba; Allen, 1999). Contudo, inferências sobre desempenho animal permanecem dependentes de dados complementares de digestibilidade e consumo voluntário, não sendo possível estabelecer recomendações definitivas apenas com base no teor de FDN.

4.2.3 NUTRIENTES DIGESTÍVEIS TOTAIS (NDT%)

A variável Nutrientes Digestíveis Totais (NDT, %) apresentou comportamento estatístico semelhante ao observado para a FDN, caracterizando-se por estabilidade entre tratamentos e alturas. Na comparação entre alturas dentro de cada tratamento, observou-se diferença significativa apenas nos tratamentos Ureia 100 e Ureia 200. Nessas condições, a altura de 2,0 m apresentou teores de 51,2% e 54,3%, respectivamente, valores inferiores aos observados na altura de 4,0 m, que atingiu médias de 55,6% e 55,5%. Nos tratamentos Controle e Pó de Chifre e Casco (PCC), o NDT manteve-se constante entre as alturas, com valores médios próximos a 55,1% e 54,8%.

Considerando a ausência de diferenças entre tratamentos dentro de cada altura e a inexistência de padrão consistente entre alturas nos diferentes tratamentos, não há evidência estatística robusta de interação significativa entre adubação e altura para a variável NDT. Esse comportamento está diretamente associado à estabilidade da FDN, uma vez que o NDT foi estimado a partir dessa fração, sendo inversamente proporcional a ela; assim, a constância estrutural da planta refletiu-se nos valores estimados de energia.

A precisão experimental foi elevada, com coeficientes de variação extremamente baixos, variando de 0,6% a 1,3% por altura, indicando alta consistência das estimativas e homogeneidade das parcelas quanto ao perfil energético. Nas condições avaliadas, a biomassa da Moringa apresentou estabilidade energética entre tratamentos.

Do ponto de vista nutricional, valores médios de NDT entre 54% e 55% caracterizam a Moringa como volumoso de densidade energética moderada. Esse patamar é compatível com sistemas de manutenção ou produção moderada,

desde que a dieta seja adequadamente balanceada quanto à proteína e à energia. Contudo, inferências conclusivas sobre desempenho animal dependem de dados complementares, como digestibilidade in vivo e eficiência real de utilização energética.

As correlações entre altura da planta e variáveis bromatológicas evidenciam forte dependência do valor nutricional em relação ao estágio de crescimento (Tabela 6). A altura apresentou correlações negativas acentuadas com os teores de cinzas (-0,88) e proteína bruta (-0,74), indicando diluição progressiva dos componentes minerais e proteicos com o desenvolvimento vertical. A correlação positiva entre PB e cinzas (0,84) reforça que ambos os parâmetros declinam simultaneamente à medida que a planta investe em tecidos estruturais.

Tabela 5 – Correlações entre a alturas da planta no momento do corte e das variáveis bromatológicas

	Altura	MS	PB	Cinzas	FDN
Altura	-	0,52	-0,74	-0,88	-0,50
MS		-	-0,74	-0,78	-0,31
PB			-	0,84	0,40
Cinzas				-	0,474
FDN					-

O NDT foi estimado a partir da FDN e, assim, os valores são os mesmos.

A MS apresentou correlações negativas com proteína (-0,74) e cinzas (-0,78), evidenciando que o acúmulo de matéria seca ocorre simultaneamente à redução relativa da densidade nutricional. A FDN mostrou correlações negativas moderadas com a altura (-0,50) e com a MS (-0,31), sugerindo que, apesar do crescimento e do acúmulo de biomassa, a proporção relativa da parede celular tende à estabilização ou a leve decréscimo, possivelmente associado a alterações na arquitetura da planta e na distribuição de folhas e ramos nas maiores alturas.

De modo geral, a alturas da planta no momento do corte demonstrou ser o principal fator modulador da qualidade bromatológica da Moringa, exercendo influência mais expressiva do que a adubação nitrogenada. Enquanto as fontes e doses de nitrogênio não alteraram significativamente a composição básica nas alturas avaliadas, o crescimento de 2,0 m para 4,0 m resultou em redução acentuada da qualidade proteica, com queda da proteína bruta de níveis superiores a 15% para valores próximos a 6%.

Em contrapartida, a fração fibrosa (FDN) e o aporte energético estimado (NDT) mantiveram-se relativamente estáveis, em torno de 60% e 54–55%,

respectivamente, independentemente do manejo nutricional ou da altura. Assim, para otimizar o uso da *Moringa* na alimentação animal, o manejo deve priorizar colheitas em alturas próximas a 2,0 m quando o objetivo for maximizar o aporte proteico e mineral.

CONCLUSÃO

A altura da planta no momento do corte constitui o principal fator modulador do potencial forrageiro da *Moringa oleifera* Lam., exercendo influência mais expressiva do que a adubação nitrogenada tanto sobre a produtividade quanto sobre a qualidade bromatológica.

A elevação da altura da planta no momento do corte de 2,0 m para 4,0 m promove aumento da produção de matéria seca e do rendimento da biomassa, porém resulta em redução acentuada da densidade nutricional, especialmente nos teores de proteína bruta e cinzas.

Nas condições do presente estudo, a adubação nitrogenada, independentemente da fonte (PCC ou ureia) e da dose aplicada, não promoveu alterações significativas na composição bromatológica básica nem na produtividade, indicando estabilidade da cultura frente ao aporte de nitrogênio no curto prazo.

A fração fibrosa (FDN) e o aporte energético estimado (NDT) mantiveram-se estáveis entre alturas e tratamentos, caracterizando a *Moringa* como volumoso de densidade energética moderada e relativamente constante.

Para a alimentação de animais de maior exigência nutricional, a altura de corte de 2,0 m é a mais indicada por preservar o valor proteico. Por outro lado, o corte a 4,0 m deve ser adotado quando o objetivo principal for maximizar o volume de biomassa, sendo necessária suplementação proteica corretiva na dieta.

Para fins de ensilagem, a altura de 2,0 m não é indicada devido ao baixo teor de matéria seca, sendo necessário o uso de aditivos sequestrantes para sua adequação. A altura de 4,0 m apresenta-se como a mais indicada para a ensilagem.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHEEM, Sherief M.; HASSAN, Ekramy H. Effects of dietary inclusion of *Moringa oleifera* leaf meal on nutrient digestibility, rumen fermentation, ruminal enzyme activities and growth performance of buffalo calves. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 8, p. 4430–4436, ago. 2021.
- ADAMU, U. A. *et al.* Effects of nitrogen levels and harvest frequency on the growth and leaf quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam) in Sudan Savanna of Nigeria. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 10, n. 1, p. 66, 28 set. 2017.
- ADEBAYO, A. G. *et al.* Soil chemical properties and growth response of *Moringa oleifera* to different sources and rates of organic and NPK fertilizers. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 281–287, dez. 2017.
- AKAKPO, D. B. *et al.* Assessing the nutritional quality of stored grain legume fodders: Correlations among farmers' perceptions, sheep preferences, leaf-stem ratios and laboratory analyses. **Small Ruminant Research**, v. 210, p. 106673, maio 2022.
- ALARAPE, OI; MIGWI, Pk; ONDIEK, Jo. Nutritional evaluation and *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) of *Moringa oleifera*, *Medicago sativa*, *Chloris gayana* and their combinations at different ratios. **International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry**, v. 8, n. 4, p. 232–237, 1 jan. 2023.
- A.M., Farahzety *et al.* Yield and phytonutrient content of moringa leaves as influenced by plant spacings and fertilizer application. **Food Research**, v. 8, n. Supplementary 3, p. 1–12, 31 maio 2024.
- AMANULLAH *et al.* Nitrogen Contents in Soil, Grains, and Straw of Hybrid Rice Differ When Applied with Different Organic Nitrogen Sources. **Agriculture**, v. 10, n. 9, p. 386, 2 set. 2020.
- AMMAR, Hajer *et al.* Chemical composition and *in vitro* rumen fermentation kinetics of leaves and stems of *Moringa oleifera* and *Leucaena leucocephala* as potential feedstuffs for sheep. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 2405881, 31 dez. 2024.
- ANADÓN, José D. *et al.* Effect of woody-plant encroachment on livestock production in North and South America. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 35, p. 12948–12953, 2 set. 2014.

- ANWAR, Ali *et al.* Effects of *Moringa oleifera* leaf meal supplementation on growth performance and blood profiles of cattle heifers. **World Journal of Biology and Biotechnology**, v. 9, n. 1, p. 25, 10 jan. 2024.
- BOOPATHI, N. Manikanda; ABUBAKAR, Bashir Yusuf. Botanical Descriptions of *Moringa* spp.,. *In*: BOOPATHI, N. Manikanda; RAVEENDRAN, M.; KOLE, Chittaranjan (Orgs.). **The Moringa Genome**. Compendium of Plant Genomes. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 11–20.
- BOPAPE-MABAPA, M. P. *et al.* MORINGA (*MORINGA OLEIFERA*) LEAF NUTRITIONAL COMPOSITION AS INFLUENCED BY SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND TREE AGE UNDER DIVERSE AGRO-ECOLOGICAL CONDITIONS. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 19, n. 2, p. 953–970, 2021.
- BRUNETTI, Cecilia *et al.* Phenotypic plasticity of two *M. oleifera* ecotypes from different climatic zones under water stress and re-watering. **Conservation Physiology**, v. 8, n. 1, p. coaa028, 1 jan. 2020.
- BUSANI, Moyo *et al.* Nutritional characterization of *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 60, p. 12925–12933, 5 out. 2011.
- CAI, Yimin *et al.* Analysis of main factors affecting silage fermentation of sorghum prepared with whole crop and stover in semiarid West Africa. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 38, n. 2, p. 169–178, 3 abr. 2021a.
- CAI, Yimin *et al.* Analysis of main factors affecting silage fermentation of sorghum prepared with whole crop and stover in semiarid West Africa. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 38, n. 2, p. 169–178, 3 abr. 2021b.
- CASTRO-MONTOYA, J. M.; DICKHOEFER, U. The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114641, nov. 2020.
- DALLE, Gemedo. Evaluation of forage quantity and quality in the semi-arid Borana Lowlands, Southern Oromia, Ethiopia. **Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales**, v. 8, n. 2, p. 72–85, 30 maio 2020.
- DE OLIVEIRA FRANCO, Marcia *et al.* Intake, digestibility, and rumen and metabolic characteristics of cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with

nitrogen and different levels of starch. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 30, n. 6, p. 797–803, 28 out. 2016.

DEBELA, Etana; TOLERA, Adugna. Nutritive value of botanical fractions of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala* grown in the mid-Rift Valley of southern Ethiopia. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 5, p. 1147–1155, out. 2013.

DEVKOTA, Sabina; BHUSAL, Khuma Kumari. *Moringa oleifera*: A miracle multipurpose tree for agroforestry and climate change mitigation from the Himalayas – A review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1805951, 1 jan. 2020.

DHAKAD, Ashok Kumar *et al.* Proximate composition, mineral profiling and antioxidant potential in *Moringa oleifera* genotypes affected with leaf maturity stage. **South African Journal of Botany**, v. 168, p. 227–235, maio 2024.

DONG, Lifeng; ZHANG, Tingting; DIAO, Qiyu. Effect of Dietary Supplementation of *Moringa Oleifera* on the Production Performance and Fecal Methanogenic Community of Lactating Dairy Cows. **Animals**, v. 9, n. 5, p. 262, 22 maio 2019.

DU, Zhumei *et al.* Microbial Co-occurrence Network and Fermentation Information of Natural Woody-Plant Silage Prepared With Grass and Crop By-Product in Southern Africa. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 756209, 14 mar. 2022.

DU, Zhumei *et al.* Cellulase–lactic acid bacteria synergy action regulates silage fermentation of woody plant. **Biotechnology for Biofuels and Bioproducts**, v. 16, n. 1, p. 125, 4 ago. 2023.

FERREIRA, Iuri E. P.; ZOCCHI, Silvio S.; BARON, Daniel. Reconciling the Mitscherlich's law of diminishing returns with Liebig's law of the minimum. Some results on crop modeling. **Mathematical Biosciences**, v. 293, p. 29–37, nov. 2017.

FRANCO, Marcia; RINNE, Marketta. Dry Matter Content and Additives with Different Modes of Action Modify the Preservation Characteristics of Grass Silage. **Fermentation**, v. 9, n. 7, p. 640, 8 jul. 2023.

GAD, Nadia; SEKARA, Agnieszka; ABDELHAMID, Magdi T. The Potential Role of Cobalt and/or Organic Fertilizers in Improving the Growth, Yield, and Nutritional Composition of *Moringa oleifera*. **Agronomy**, v. 9, n. 12, p. 862, 9 dez. 2019.

GONZÁLEZ-LEMUS, Uriel *et al.* Decrease of Greenhouse Gases during an In Vitro Ruminal Digestibility Test of Forage (*Festuca arundinacea*) Conditioned with Selenium Nanoparticles. **Nanomaterials**, v. 12, n. 21, p. 3823, 29 out. 2022.

- GOPALAKRISHNAN, Lakshmipriya; DORIYA, Kruthi; KUMAR, Devarai Santhosh. *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. **Food Science and Human Wellness**, v. 5, n. 2, p. 49–56, jun. 2016.
- GUILLÉN-ROMÁN, Cesiah J. *et al.* Effect of nitrogen privation on the phenolics contents, antioxidant and antibacterial activities in *Moringa oleifera* leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 114, p. 45–51, abr. 2018.
- HAJAJI, Afef N. *et al.* Multivariate investigation of *Moringa oleifera* morpho-physiological and biochemical traits under various water regimes. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 505, 6 jun. 2024.
- HAKL, J. *et al.* Differences in the crude protein fractions of lucerne leaves and stems under different stand structures. **Grass and Forage Science**, v. 71, n. 3, p. 413–423, set. 2016.
- HAO, YangYi *et al.* PSVIII-23 Effects of different growth height on the yield, chemical composition, silage fermentation profile, in vitro and in situ digestibility of *Broussonetia papyrifera*. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. Supplement_4, p. 325–327, 30 nov. 2020.
- HARPER, Karen; MCNEILL, David. The Role iNDF in the Regulation of Feed Intake and the Importance of Its Assessment in Subtropical Ruminant Systems (the Role of iNDF in the Regulation of Forage Intake). **Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 778–790, 10 set. 2015.
- HE, Qian *et al.* Biomass production of *Moringa oleifera* as affected by N, P, and K fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 10, p. 1458–1467, 14 jun. 2020.
- IGBOKE, Ogechukwu *et al.* Perennial Forage Systems Enhance Ecosystem Quality Variables Compared with Annual Forage Systems. **Sustainability**, v. 16, n. 23, p. 10160, 21 nov. 2024.
- JAVED, Javeria *et al.* Endophytic Fungal Consortia Enhance Basal Drought-Tolerance in *Moringa oleifera* by Upregulating the Antioxidant Enzyme (APX) through Heat Shock Factors. **Antioxidants**, v. 11, n. 9, p. 1669, 27 ago. 2022.
- JAYANEGARA, A. *et al.* Fermentative quality of silage as affected by protein level in the ensiled material: A meta-analysis. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 462, n. 1, p. 012001, 1 mar. 2020.
- KEBEDE, Gezahagn *et al.* Productivity and economic feasibility of cultivated forage and food crops in the central highlands of Ethiopia. **Frontiers in Animal Science**, v. 5, p. 1338621, 22 jan. 2024.

- KHOLIF, A. E. *et al.* Moringa oleifera leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: Feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. **Small Ruminant Research**, v. 129, p. 129–137, ago. 2015a.
- KHOLIF, A. E. *et al.* Moringa oleifera leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: Feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. **Small Ruminant Research**, v. 129, p. 129–137, ago. 2015b.
- KHOLIF, Ahmed E. *et al.* Replacing the Concentrate Feed Mixture with Moringa oleifera Leaves Silage and Chlorella vulgaris Microalgae Mixture in Diets of Damascus Goats: Lactation Performance, Nutrient Utilization, and Ruminal Fermentation. **Animals**, v. 12, n. 12, p. 1589, 20 jun. 2022.
- KHOZA, Tshepiso *et al.* Alleviating Plant Density and Salinity Stress in Moringa oleifera Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Review. **Journal of Fungi**, v. 11, n. 4, p. 328, 21 abr. 2025.
- KRIZSAN, S. J.; AHVENJÄRVI, S.; HUHTANEN, P. A meta-analysis of passage rate estimated by rumen evacuation with cattle and evaluation of passage rate prediction models. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 12, p. 5890–5901, dez. 2010.
- KUMAR, Sanjay *et al.* Factors affecting the performance of cutting mechanism for agricultural crops-A review. **Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews**, v. 13, n. 2, p. 86–92, 2025.
- LEITANTHEM, Vandana Kumari *et al.* Impact of Moringa oleifera Leaves on Nutrient Utilization, Enteric Methane Emissions, and Performance of Goat Kids. **Animals**, v. 13, n. 1, p. 97, 27 dez. 2022.
- LEKHAK, Manoj M. *et al.* Stem anatomy at various developmental stages of secondary growth in Turbina corymbosa (Convolvulaceae). **Plant Ecology and Evolution**, v. 151, n. 2, p. 219–230, 28 nov. 2018.
- LEMAIRE, Gilles; BELANGER, Gilles. Allometries in Plants as Drivers of Forage Nutritive Value: A Review. **Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 5, 24 dez. 2019.
- LI, Sibiao *et al.* Biomechanical properties and discrete element modeling of PSR stalks during silage harvest. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 217, p. 108644, fev. 2024.
- LI, Yang *et al.* Effects of replacing alfalfa hay with Moringa oleifera leaves and peduncles on intake, digestibility, and rumen fermentation in dairy cows. **Livestock Science**, v. 220, p. 211–216, fev. 2019.

LISU, Amanda C.; NASTITI, Herayanti Panca; KOTEN, Bernadete B. KANDUNGAN ACID DETERGENT FIBER, NEUTRAL DETERGENT FIBER DAN SELULOSA HIJAUAN *Indigofera zollingeriana* PADA JENIS TANAH YANG BERBEDA (The content of acid detergent fiber, neutral detergent fiber and cellulose *Indigofera zollingeriana* forage in..... **JURNAL NUKLEUS PETERNAKAN**, v. 9, n. 1, p. 85–91, 30 jun. 2022.

MABAPA, M. P.; AYISI, K. K.; MARIGA, I. K. Effect of Planting Density and Harvest Interval on the Leaf Yield and Quality of Moringa (*Moringa oleifera*) under Diverse Agroecological Conditions of Northern South Africa. **International Journal of Agronomy**, v. 2017, p. 1–9, 2017.

MARIO ZUFFO, Alan *et al.* Silicon mitigates the effects of moderate drought stress in cover crops. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 208, n. 6, p. 887–897, dez. 2022.

MCDONALD, Iryna; BARAL, Rudra; MIN, Doohong. Effects of alfalfa and alfalfa-grass mixtures with nitrogen fertilization on dry matter yield and forage nutritive value. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 305–318, mar. 2021.

MEDIAVILLA, Sonia *et al.* Morphological and chemical leaf composition of Mediterranean evergreen tree species according to leaf age. **Trees**, v. 25, n. 4, p. 669–677, ago. 2011.

MENDIETA-ARAICA, B. *et al.* Silage quality when *Moringa oleifera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molasses. **Grass and Forage Science**, v. 64, n. 4, p. 364–373, dez. 2009.

MENDIETA-ARAICA, B. *et al.* Moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal as a source of protein in locally produced concentrates for dairy cows fed low protein diets in tropical areas. **Livestock Science**, v. 137, n. 1–3, p. 10–17, maio 2011.

MENDIETA-ARAICA, B. *et al.* Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 1, p. 81–92, fev. 2013a.

MENDIETA-ARAICA, B. *et al.* Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 1, p. 81–92, fev. 2013b.

MENDIETA-ARAICA, B. *et al.* Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 1, p. 81–92, fev. 2013c.

- MUKUMBO, Fe *et al.* Effect of Moringa oleifera leaf meal on finisher pig growth performance, meat quality, shelf life and fatty acid composition of pork. **South African Journal of Animal Science**, v. 44, n. 4, p. 388, 8 jan. 2015.
- NAVARRO, Diego M. D. L.; ABELILLA, Jerubella J.; STEIN, Hans H. Structures and characteristics of carbohydrates in diets fed to pigs: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 39, dez. 2019.
- NEHRA, Chitra *et al.* Moringa leaf meal exerts growth benefits in small ruminants through modulating the gastrointestinal microbiome. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 108, n. 1, p. 438, dez. 2024.
- NIEDZIŃSKI, Tomasz *et al.* Release of Nitrogen from Granulate Mineral and Organic Fertilizers and Its Effect on Selected Chemical Parameters of Soil. **Agronomy**, v. 11, n. 10, p. 1981, 30 set. 2021.
- NURDIANTI, R. R. *et al.* Dietary Compositions of *Pueraria montana* (Lour.) Merr. and Relationship of Its Growth and Productivity with Environmental Factors. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1484, n. 1, p. 012021, 1 abr. 2025.
- NUTU, Gelu; BAISAN, Ioan. Researches Concerning the Cutting of Strains Plant with Cutting Devices from Romanian Combine Harvesters. **Applied Mechanics and Materials**, v. 659, p. 527–532, 1 out. 2014.
- OBA, M.; ALLEN, M. S. Evaluation of the Importance of the Digestibility of Neutral Detergent Fiber from Forage: Effects on Dry Matter Intake and Milk Yield of Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 3, p. 589–596, mar. 1999.
- O'DOGHERTY, M. J. A review of research on forage chopping. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 27, n. 4, p. 267–289, jul. 1982.
- OKHUMATA, Dania Stephen. COMPARATIVE EFFECTS OF MINERAL FERTILIZER, COMPOST AND COMPOST – MINERAL FERTILIZER ON BIOLOGICAL, CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL. **Journal of Wastes and Biomass Management**, v. 4, n. 2, p. 73–77, 2022.
- OLADOSU, Yusuff *et al.* Fermentation Quality and Additives: A Case of Rice Straw Silage. **BioMed Research International**, v. 2016, p. 1–14, 2016.
- PÉREZ-RIVERA, Elvia Paulina *et al.* Agronomical Aspects of Moringa oleifera (Moringa). *In*: HEREDIA, J. Basilio; GUTIÉRREZ-GRIJALVA, Erick P. (Eds.). **Biological and Pharmacological Properties of the Genus Moringa**. 1. ed. New York: CRC Press, 2021. p. 39–63.

PHILIPPE SAVOIE; PIERRE LUC HÉBERT; FRANÇOIS-SIMON ROBERT. Harvest of short rotation woody crops with small to medium size forage harvesters. *In*: 2013 KANSAS CITY, MISSOURI, JULY 21 - JULY 24, 2013. **2013 Kansas City, Missouri, July 21 - July 24, 2013**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013. Disponível em:

<<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=5&AID=43487&CID=miss2013&T=1>>.

Acesso em: 20 fev. 2026

PINHEIRO JUNIOR, Carlos Roberto *et al.* SOLOS DO BRASIL: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO E LIMITAÇÕES AO USO. *In*: JÚLIO CÉSAR RIBEIRO (Ed.). **Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País**. 1. ed. [S.l.]: Atena Editora, 2020. p. 183–199.

QADIR, Rahman *et al.* Variation in Nutritional and Antioxidant Attributes of Moringa oleifera L. Leaves at Different Maturity Stages. **Frontiers in Energy Research**, v. 10, p. 888355, 9 ago. 2022.

RUÍZ HERNÁNDEZ, Rafael *et al.* Efecto de la poda en la producción de biomasa y proteína en Moringa oleifera Lam. en la zona centro de Veracruz. **Biotecnia**, v. 23, n. 2, 16 jun. 2021.

SAMARASINGHE, Milani Bhagya *et al.* Effects of shredding on silage density and fermentation quality. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 2, p. 244–253, jun. 2019.

SAMPAIO, Claudia B. *et al.* Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. **Tropical Animal Health and Production**, v. 42, n. 7, p. 1471–1479, out. 2010.

SÁNCHEZ, Nadir Reyes; LEDIN, Stig; LEDIN, Inger. Biomass Production and Chemical Composition of Moringa oleifera under Different Management Regimes in Nicaragua. **Agroforestry Systems**, v. 66, n. 3, p. 231–242, mar. 2006.

SANTOS, R. S. *et al.* Growth and Biomass Production of Moringa Cultivated in Semiarid Region as Responses to Row Spacing and Cuts. **Tropical Animal Science Journal**, v. 44, n. 2, p. 183–187, jun. 2021.

SHI, Honghui *et al.* Solid state fermentation of *Moringa oleifera* leaf meal by mixed strains for the protein enrichment and the improvement of nutritional value. **PeerJ**, v. 8, p. e10358, 18 nov. 2020.

SOKOMBELA, Asanda; EIASU, Bahlebi K.; NYAMBO, Patrick. Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Improve Growth and Leaf Nutrient Composition of Moringa oleifera. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 861400, 28 mar. 2022a.

- SOKOMBELA, Asanda; EIASU, Bahlebi K.; NYAMBO, Patrick. Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Improve Growth and Leaf Nutrient Composition of *Moringa oleifera*. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 861400, 28 mar. 2022b.
- SU, Bin; CHEN, Xiaoyang. Current Status and Potential of *Moringa oleifera* Leaf as an Alternative Protein Source for Animal Feeds. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, p. 53, 26 fev. 2020.
- SUTARNO; ROSYIDA. The growth and yield of *Moringa oleifera* Lam. as affected by plant spacing and cutting interval. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 518, p. 012044, 1 out. 2020.
- TANTALO, Syahrio; LIMAN, Liman; FATHUL, Farida. EFEK UMUR PEMANGKASAN INDIGOFERA (*Indigofera zollingeriana*) PADA MUSIM KEMARAU TERHADAP KANDUNGAN NETRAL DETERGEN FIBER DAN ACID DETERGEN FIBER. **JURNAL ILMIAH PETERNAKAN TERPADU**, v. 7, n. 2, p. 241, 29 ago. 2019.
- UU-ESPENS, Carol *et al.* Seasonal variation in biomass yield and quality of *Tithonia diversifolia* at different cutting heights. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 9, n. 3, 31 dez. 2022.
- VALDÉS-RODRÍGUEZ, Ofelia Andrea; PÉREZ-VÁZQUEZ, Arturo. Seedling Characteristics of Three Oily Species before and after Root Pruning and Transplant. **Plants**, v. 8, n. 8, p. 258, 30 jul. 2019.
- VAN VLIERBERGHE, C. *et al.* Improving the storage of cover crops by co-ensiling with different waste types: Effect on fermentation and effluent production. **Waste Management**, v. 154, p. 136–145, dez. 2022.
- VIJAYARAGAVAN, V. *et al.* Mechanisms of drought tolerance in *Moringa*: Strategies for mitigation and adaptation – Review. **Plant Science Today**, 27 jan. 2025.
- WAGNER OLIVEIRA, Mauro *et al.* DRY MATTER AND PROTEIN ACCUMULATION AS A FUNCTION OF NITROGEN FERTILIZATION IN *Brachiaria brizantha* CV. MARANDU (*Urochloa brizantha*). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 10–18, 30 abr. 2022.
- WANG, Peng *et al.* Increased biomass accumulation in maize grown in mixed nitrogen supply is mediated by auxin synthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 6, p. 1859–1873, 27 mar. 2019.
- WRÓBEL, Barbara *et al.* Dry Matter Losses in Silages Resulting from Epiphytic Microbiota Activity—A Comprehensive Study. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 450, 2 fev. 2023.

- YALTA VELA, Juan *et al.* Effect of pruning height and organic fertilization on the morphological and productive characteristics of *Moringa oleifera* Lam. in the Peruvian dry tropics. **Open Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 20220317, 18 jun. 2024.
- YU, Qiang *et al.* Synergistic effects of ferulic acid esterase-producing lactic acid bacteria, cellulase and xylanase on the fermentation characteristics, fibre and nitrogen components and microbial community structure of *Broussonetia papyrifera* during ensiling. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 6, p. 3543–3558, abr. 2024.
- ZENG, B. *et al.* Effects of *Moringa oleifera* silage on milk yield, nutrient digestibility and serum biochemical indexes of lactating dairy cows. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 102, n. 1, p. 75–81, fev. 2018.
- ZHAI, Juan *et al.* Effect of the Rate of Nitrogen Application on Dry Matter Accumulation and Yield Formation of Densely Planted Maize. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 14940, 11 nov. 2022.
- ZHENG, Yixing; ZHANG, Yanping; WU, Jiangchong. Yield and quality of *Moringa oleifera* under different planting densities and cutting heights in southwest China. **Industrial Crops and Products**, v. 91, p. 88–96, nov. 2016.
- ŽIBUTIS, Saulius; PEKARSKAS, Juozas; ČESONIENĖ, Laima. Effect of horn shaving and horn core powder fertilizers on the dynamics of mineral nitrogen in the soil of organic farm. **Ekologija**, v. 58, n. 3, 31 jan. 2013.
- ZUMAETA-BARBARÁN, Rodrigo S.; ARÉVALO-HERNÁNDEZ, Cesar O. Effect of non-conventional organic fertilizer (horn and hoof meal) on the development of cacao (*Theobroma cacao* L.). **Revista Agrotecnológica Amazónica**, v. 5, n. 1, p. e775, 20 jan. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Nome do Apêndice

ANEXOS

ANEXO A

Título do Anexo